



Comparación técnica entre el Reglamento Colombiano de Construcción Sismo Resistente- NSR-98 y el Reglamento Colombiano de Construcción Sismo Resistente- NSR-10 en edificaciones en la ciudad de Bogotá.

Milton Andrés Díaz Portilla.
Sergio Andrés Aranda Nieves.

Universidad Católica de Colombia
Programa de Ingeniería Civil
Bogotá, Colombia
2017

Comparación técnica entre el Reglamento Colombiano de Construcción Sismo Resistente- NSR-98 y el Reglamento Colombiano de Construcción Sismo Resistente- NSR-10 en edificaciones en la ciudad de Bogotá.

Milton Andrés Díaz Portilla.
Sergio Andrés Aranda Nieves.

Trabajo de investigación presentada(o) como requisito para optar al título de:
Ingeniero Civil

Director (a):
Ingeniero Abraham Ruiz

Línea de Investigación:
Materiales

Universidad Católica de Colombia
Programa de Ingeniería Civil
Bogotá, Colombia
2017



La presente obra está bajo una licencia:
Atribución-NoComercial 2.5 Colombia (CC BY-NC 2.5)
Para leer el texto completo de la licencia, visita:
<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/2.5/co/>

Usted es libre de:



Compartir - copiar, distribuir, ejecutar y comunicar públicamente la obra
hacer obras derivadas

Bajo las condiciones siguientes:



Atribución — Debe reconocer los créditos de la obra de la manera especificada por el autor o el licenciante (pero no de una manera que sugiera que tiene su apoyo o que apoyan el uso que hace de su obra).



No Comercial — No puede utilizar esta obra para fines comerciales.

Nota de aceptación

Firma del presidente del jurado.

Firma del jurado.

Firma del jurado.

Bogotá D.C, 25 de noviembre de 2017

TABLA DE CONTENIDO

	Pág.
1. INTRODUCCIÓN	1
2. ANTECEDENTES.....	3
3. JUSTIFICACIÓN	6
4. PLANTEAMIENTO Y FORMULACIÓN DEL PROBLEMA	7
5. DELIMITACIÓN	8
5.1 Espacio	8
5.2 Tiempo	8
5.3 Contenido.....	8
5.4 Alcance y limitaciones	9
6. OBJETIVOS	10
6.1 General	10
6.2 Específicos.....	10
7. MARCO DE REFERENCIA	11
7.1 MARCO TEÓRICO	11
7.1.1 Sismo.....	11
7.1.2 Suelos susceptibles y frágiles para un sismo	11
7.1.3 Zonas de gran susceptibilidad a los terremotos y licuación de suelos en Colombia.....	12
7.1.4 Detección de sismos	14
7.1.5 Efecto de los sismos en una construcción.....	14
7.1.6 Sismo resistencia.	16
7.1.7 Edificación sismo resistente.....	16
7.1.8 Requisitos generales de diseño y construcción sismo resistente.	17
7.1.8.1 Estudios geotécnicos.....	17
7.1.8.2 Diseño arquitectónico	17
7.1.8.3 Diseño estructural.....	18
7.1.9 Factores determinantes de diseño.....	18
7.1.9.1 Localización general.....	18
7.1.10 Microzonificación sísmica en Colombia	19
7.1.10.1 Espectros de aceleración de diseño.	19

7.1.10.2	Zonas de amenaza sísmica en Colombia	20
7.1.11	Especificaciones técnicas de los materiales.....	22
7.1.12	Sistemas estructurales	22
7.1.13	Métodos de análisis estructural.....	23
7.1.13.1	Método de la fuerza horizontal equivalente	23
7.1.13.2	Método de análisis dinámico elástico.....	24
7.1.13.3	Método de análisis dinámico inelástico	25
7.1.14	Fuerza horizontal equivalente.	25
7.1.14.2	Efectos locales.....	25
7.1.14.3	Coeficiente de importancia.	27
7.1.14.4	Espectro de diseño.....	30
7.1.14.5	Fuerzas sísmicas horizontales equivalentes.	38
7.1.15	Configuración estructural de la edificación.	38
7.1.15.1	Reducción del valor de R para estructuras irregulares y con ausencia de redundancia.	38
7.1.15.2	Ausencia de redundancia en el sistema estructural de resistencia sísmica.....	39
7.1.15.3	Uso del coeficiente de sobrerresistencia Ω_0	40
7.1.16	Requisitos de la deriva.	41
7.1.16.1	Definición.	41
7.1.16.2	Necesidad de controlar la deriva.....	41
7.1.16.3	Límites de la deriva.....	42
7.1.17	Cargas.	42
7.1.17.1	Combinación de cargas.....	42
7.2	MARCO CONCEPTUAL.....	44
7.3	MARCO HISTORICO	46
7.4	MARCO LEGAL	48
7.5	ESTADO DEL ARTE.....	49
8.	METODOLOGIA.....	50
9.	COMPARACIÓN TECNICA DE LA NSR-98 CON RELACIÓN A LA NSR-	
10	51	
9.1	Microzonificación sísmica.	51
9.2	Fuerza horizontal equivalente.	56
9.2.1	Tipos de perfiles de suelo.	56

9.2.2	Efectos locales.	59
9.2.3	Coeficiente de sitio.	61
9.2.4	Espectros de diseño.	62
9.2.5	Periodo de vibración aproximado.	64
9.2.6	Coeficiente de importancia.	67
9.3	Configuración estructural de la edificación.	67
9.3.1	Coeficiente de capacidad de disipación de energía - R.	67
9.4	Requisitos de deriva.	70
9.5	Combinaciones de carga.	70
9.6	Materiales.	71
9.7	Capítulos nuevos de la NSR – 10.	74
10.	ACTUALIZACIÓN DEL DECRETO 092 DE 2011.	77
11.	COMPARACIÓN TÉCNICA ENTRE DOS EDIFICACIONES DISEÑADAS Y CONSTRUIDAS DE ACUERDO CON LA NSR – 98 Y LA NSR – 10.	87
11.1	Microzonificación sísmica.	89
11.2	Perfil de suelo.	89
11.3	Efectos locales.	90
11.4	Espectros de diseño.	90
11.5	Coeficiente de importancia.	92
11.6	Coeficiente de capacidad de disipación de energía - R.	92
11.7	Combinaciones de carga.	93
12.	IMPACTO SOCIAL DEL REGLAMENTO COLOMBIANO DE CONSTRUCCION SISMO RESISTENTE EN COLOMBIA.	94
13.	CONCLUSIONES.	96
14.	RECOMENDACIONES.	99
15.	BIBLIOGRAFIA.	101
16.	ANEXOS.	105

INDICE DE IMÁGENES

	Pág.
Ilustración 1 Zonas de Amenaza sísmica en Colombia	13
Ilustración 2 Desplazamiento Horizontal o Deriva	15
Ilustración 3 Zonas de Amenaza Sísmica aplicable a edificaciones para la NSR-10 en función de A_a y A_v	20
Ilustración 4 Coeficiente de amplificación F_a del suelo para la zona de periodos cortos del espectro.	26
Ilustración 5 Coeficiente de amplificación F_a del suelo para la zona de periodos cortos del espectro	27
Ilustración 6 Espectro elástico de velocidades de diseño (m/s)	36
Ilustración 7 Espectro elástico de desplazamientos de diseño (m)	37
Ilustración 8 Mapa de A_a de la NSR-98 (aceleración pico efectiva horizontal de diseño para períodos de vibración cortos expresada como fracción de la aceleración de la gravedad, $g = 9.8 \text{ m/s}^2$)	52
Ilustración 9 Mapa de A_a de la NSR-10 (aceleración pico efectiva horizontal de diseño para períodos de vibración cortos expresada como fracción de la aceleración de la gravedad, $g = 9.8 \text{ m/s}^2$)	53
Ilustración 10 Mapa de A_v de la NSR-10 (aceleración pico efectiva horizontal de diseño para períodos de vibración intermedios expresada como fracción de la aceleración de la gravedad, $g = 9.8 \text{ m/s}^2$)	55
Ilustración 11 Espectro Elástico de Aceleraciones de Diseño como fracción de g de la NSR – 98.	63
Ilustración 12 Espectro Elástico de Aceleraciones de Diseño como fracción de g de la NSR – 10.	64

INDICE DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1 Amenaza sísmica según los valores de A_a y A_v	21
Tabla 2 derivas máximas como porcentaje de h_{pi}	42
Tabla 3 valores de A_a (aceleración pico efectiva horizontal de diseño para períodos de vibración cortos).....	51
Tabla 4 valores de A_v (aceleración pico efectiva horizontal de diseño para períodos de vibración intermedios)	54
Tabla 5 Tipos de perfiles de suelo de acuerdo con la NSR-98.	56
Tabla 6 Clasificación de los perfiles de suelo de acuerdo con la NSR-10.....	58
Tabla 7 Valores del coeficiente F_a para la zona de periodos cortos del espectro.	59
Tabla 8 Valores del coeficiente F_v para la zona de periodos intermedios del espectro.....	60
Tabla 9 valores del coeficiente de sitio, S	61
Tabla 10 Comparación de los valores de espectro de aceleración entre la NSR – 98 y la NSR – 10	62
Tabla 11 valores de C_T y α dispuestos en la NSR-10	65
Tabla 12 valores de C_T dispuestos en la NSR-98.....	66
Tabla 13 Valores Coeficiente de importancia, I	67
Tabla 14 Valores de Coeficiente de reducción por ausencia de redundancia, ϕ_r	69
Tabla 15 Valores R_o de la NSR-98 con relación a la NSR-10.....	69
Tabla 16 Modificaciones de las combinaciones de cargas entre la NSR-98 y la NSR-10	71
Tabla 17 Cambios presentados en la NSR – 10 con respecto a la NSR – 98 en materiales.	72
Tabla 18 Capítulos nuevos de la NSR – 10	74
Tabla 19 Modificaciones al Reglamento NSR-10 realizadas a través del decreto 340 de 16 de marzo de 2012	77

Tabla 20 Información general del proyecto estructural de acuerdo con la NSR – 98.	
.....	87
Tabla 21 Información general del proyecto estructural de acuerdo con la NSR – 10.	
.....	88

INDICE DE ECUACIONES

	Pág.
Ecuación 1 Espectro elástico de aceleraciones	31
Ecuación 2 Periodo de vibración para periodos cortos	31
Ecuación 3 Espectro elástico de aceleraciones para periodos cortos	31
Ecuación 4 Periodo de vibración para periodos largos	33
Ecuación 5 Espectro elástico de aceleraciones para periodos largos	33
Ecuación 6 Periodo de vibración en la zona de aceleraciones constantes.....	34
Ecuación 7 Espectro elástico de aceleraciones en la zona de aceleraciones constantes	34
Ecuación 8 Espectro elástico de velocidades	35
Ecuación 9 Espectro elástico de velocidades para periodos cortos	35
Ecuación 10 Espectro elástico de velocidades para periodos largos	35
Ecuación 11 Espectro elástico de desplazamientos	36
Ecuación 12 Espectro elástico de desplazamientos para periodos cortos	37
Ecuación 13 Espectro elástico de desplazamientos para periodos largos	37
Ecuación 14 Periodo de vibración aproximado para la NSR-10.....	64
Ecuación 15 Periodo de vibración aproximado para la NSR-98.....	66
Ecuación 16 Coeficiente de capacidad de disipación de energía R	67
Ecuación 17 Coeficiente de capacidad de disipación de energía R	68

1. INTRODUCCIÓN

Este documento presenta un estudio comparativo de la versión del Reglamento Colombiano Sismo Resistente NSR-98 frente a la presente versión NSR-10. A partir del análisis de cada versión se realizó una comparación técnica identificando qué medidas y normas técnicas fueron adicionadas y/o actualizadas en la nueva versión. Mediante la comparación entre las dos versiones el grupo de trabajo determina que existen medidas o normas que fueron incluidas en la versión actual que afectan o favorecen en términos de costos y tiempos a la industria de la construcción. Igualmente, en este trabajo se analiza un grupo determinado de edificaciones con el propósito de hallar las diferencias entre los procesos y diseños constructivos de cada versión.

El contenido presente en este documento se desarrolla en la ciudad de Bogotá donde es común evidenciar problemas a nivel constructivo en las diferentes edificaciones, por tal razón, surgió la necesidad de realizar una comparación técnica entre la versión de la NSR-98 y la versión de la NSR-10 con el propósito de identificar cuáles han sido los cambios más significativos entre las dos versiones y cuáles de los factores que fueron adicionados a la nueva versión tienen mayor incidencia en el campo de la construcción. Es importante resaltar, que la actualización de la norma es de suma importancia para el ámbito de la ingeniería debido a que genera cambios en temas relacionados al diseño y construcción de las edificaciones, además, incorpora los nuevos avances tecnológicos para satisfacer lo mejor posible las necesidades y requerimientos de la industria de la construcción en el país.

El primer código colombiano para las Construcciones Sismo Resistentes fue el Decreto ley 1400, el cual tuvo un ajuste con la ley 400 de 1997, posteriormente,

gracias a la ayuda de la Asociación Colombiana de Ingenieros (AIS) y a la colaboración de varios profesionales relacionados al campo de la ingeniería en el año 1998 fue expedida la primera versión de las Normas Colombianas de Diseño y Construcción Sismo Resistentes NSR-98 por el gobierno nacional. Hace unos años, el Gobierno Nacional expidió el Decreto 926 del 19 de marzo de 2010, el cual reemplaza la ley 400 de 1997 y da origen a la segunda versión que es la NSR-10. Actualmente se cuenta con la última actualización de la norma la cual fue mediante el Decreto 340 de 16 de marzo de 2012.

2. ANTECEDENTES

El primer código colombiano para las Construcciones Sismo Resistentes fue el Decreto ley 1400, el cual aplicó en forma obligatoria durante más de trece años en todo el territorio nacional. El Decreto ley 1400 tuvo un ajuste bajo la ley 400 del 19 de agosto de 1997, posteriormente, gracias a la ayuda de la Asociación Colombiana de Ingenieros (AIS) y a la colaboración de varios profesionales relacionados al campo de la ingeniería en el año 1998 fue expedida la versión de la Norma Colombiana de Diseño y Construcción Sismo Resistente NSR-98 (Normas Colombianas de Diseño y Construcción Sismo- Resistentes. NSR-98. Bogotá D.C., 1997) por el gobierno nacional y, además, se establecieron sus decretos reglamentarios (Decreto 33 del 9 de enero de 1998 y Decreto 34 del 8 de enero de 1999). La NSR- 98 establece una serie de requisitos con los cuales deben cumplir las edificaciones nuevas y las edificaciones existentes que son intervenidas estructuralmente por modificaciones, cambio en su uso o por problemas patológicos dentro de su estructura¹.

Hace unos años, el Gobierno Nacional expidió el Decreto 926 del 19 de marzo de 2010, por el cual se establecen los requisitos de carácter técnico y científico para construcciones sismo resistentes NSR-10 (Reglamento Colombiano de Construcción Sismo Resistente NSR-10. Bogotá D.C., 2010). Mediante el Decreto 2525 del 13 de julio de 2010 se modifica el Decreto 926 del 19 de marzo de 2010. Posteriormente, mediante el Decreto 092 de 2011, se realizaron correcciones generales en algunos ordinales, numerales, literales y párrafos, figuras, tablas, notas, ecuaciones, valores, coeficientes y demás aspectos técnicos del Reglamento

¹ AIS, ASOCIACIÓN COLOMBIANA DE INGENIERÍA. 2010. REGLAMENTO COLOMBIANO DE CONSTRUCCION SISMO RESISTENTE NSR-10. [En línea] MARZO de 2010. http://www.culturarecreacionydeporte.gov.co/sites/default/files/reglamento_construccion_sismo_resistente.pdf.

NSR- 10, ubicados en gran parte en los Títulos J (Requisitos de protección contra incendios en edificaciones) y K (requisitos complementarios). Finalmente, el reglamento se modificó parcialmente nuevamente mediante el decreto 340 de 16 de marzo de 2012².

A través del decreto 340 de 16 de marzo de 2016 se realizaron varias modificaciones al reglamento, se resaltan aspectos relevantes como la adición de una nueva sección en el numeral A.10.1.3 del Título A la cual corresponde al “cumplimiento de los títulos J y K del reglamento” , igualmente, en la sección C.1.2.1 del título C se agregó un nuevo literal (n) el cual corresponde al “tipo, dimensiones, y localización de los anclajes; requisitos para su instalación; y su calificación de los instaladores de anclajes post instalados tal como lo indica C-d.9”, y se adiciona en el título K la sección K.3.18.2.1.1 la cual describe que “para edificaciones hasta de 15 m de altura la salida protegida debe constar, según el caso, de escaleras, pasillos y muros de cerramiento , contruidos con materiales incombustibles y con resistencia al fuego” ³ y la sección K.3.18.2.1.2 . Por otro lado, se elimina la sección C.8.13.5.1, C.8.13.5.3, C.8.13.6.1 y en la sección K.3.8.3.4 se elimina el literal (d), literal que hacía parte de los requisitos mínimos para tener en cuenta para la huella y contrahuella.

Además, en esta nueva actualización fueron modificadas algunas ecuaciones, entre las más relevantes se encuentra la ecuación B.4.5-1 en la cual se cambió el valor de 4.6 por 4.4 y la ecuación D.10.7.1, en esta ecuación se modificó el valor de la constante 0.80 por 0.75, cabe resaltar, que estas ecuaciones se encontrarán en detalle en este documento. También, se modifica la Tabla B.6.4-1 y la Tabla J.3.4-

² MINISTERIO DE VIVIENDA, C. Y. (16 de MARZO de 2012). DECRETO 340 DE 2012. Obtenido de: http://camacol.co/sites/default/files/secciones_internas/Decreto-340-Feb%2013-2012.pdf

³ OFICIAL, D. (13 de 02 de 2012). ACIESCOLOMBIA. Obtenido de: <http://www.aciescolombia.org/docs/conferencias/2012-02-13-Diario-Oficial-No-48342%20Decreto%20340%20cambios%20a%20NSR-10.pdf>

3. Los cambios restantes a causa de la nueva actualización fueron correcciones de redacción y de ortografía.

Actualmente, a través del decreto 945 de 5 junio 2017 se modifica parcialmente el Reglamento de Construcciones Sismo Resistentes NSR-10, siendo esta la última actualización realizada hasta el momento. Entre los aspectos relevantes de esta última actualización se encuentran las nuevas secciones A.1.2.3.4 y A.1.3.14 secciones que fueron incluidas para esta nueva actualización, se incluyeron nuevas definiciones en la sección A.13.1 y en el apéndice A-4 “Valores de A_a , A_v , A_e y A_d y definición de la zona de amenaza sísmica de los municipios colombianos” del Título A fueron agregados nuevos municipios los cuales habían sido omitidos por la anterior actualización. Además, en esta nueva actualización se elimina la ecuación A.4.2-4 ubicada en la sección A.4.2.2 ⁴. Igualmente, se modifica el título del capítulo A.13 quedando de la siguiente manera “DEFINICIONES GENERALES DEL REGLAMENTO COLOMBIANO DE CONSTRUCCIÓN SISMO RESISTENTE NSR-10 Y NOMENCLATURA DEL TÍTULO A “y algunas definiciones contenidas en la sección A.13.1.

Otros aspectos importantes que fueron incluidos para esta actualización, fue el nuevo apéndice A.5 “Calidades, Experiencia, Idoneidad y Acreditación de Profesionales” del Título A y el apéndice A.6 “Reglamentación de la revisión independiente de los diseños estructurales” del Título A, también, se adiciono la sección C.6.5 “límites de tolerancia “y se elimina la sección I.1.5 “Reglamentaciones adicionales”, la sección I.2.2.2.1, la sección I.3.1. 2.. y la sección I.1.5.1. Los cambios restantes fueron correcciones de redacción y de ortografía.

⁴ MINISTERIO DE VIVIENDA, C. Y. (5 de 06 de 2017). DECRETO NUMERO 945 DE 5 JUNIO DE 2017. Obtenido de:
<http://es.presidencia.gov.co/normativa/normativa/DECRETO%20945%20DEL%2005%20DE%20JUNIO%20DE%202017.pdf>

3. JUSTIFICACIÓN

La presente investigación se realiza con el propósito de identificar cuáles son las medidas y normas técnicas adicionadas en la versión de la NSR-10 que tienen mayor incidencia en el campo de la construcción en nuestro país, resaltando que son estos factores, en la mayoría de los casos los principales aspectos que brindan un resultado eficiente en los procesos constructivos. Además, es importante analizar que la presencia de nuevas medidas y normas técnicas pueden generar en un proyecto incrementos o disminución en términos de costos y tiempo, por tal razón, la realización de este proyecto busca estudiar si las medidas y normas técnicas que fueron incorporadas a la versión de la NSR-10 generan un cambio significativo en los procesos constructivos actuales.

Este trabajo se escogió debido a que en la actualidad no se encuentra un documento el cual tenga en su contenido un estudio detallado entre las dos versiones, ni tampoco existe una fuente bibliográfica segura que haya identificado cuales han sido las más significativas medidas y normas técnicas nuevas incorporadas en la versión actual con mayor incidencia en la industria de la construcción en el país.

4. PLANTEAMIENTO Y FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

En la actualidad, para cualquier proyecto de ingeniería es de suma importancia tener presente la normatividad legal que tenga cada país, en el caso de Colombia se hace referencia al Reglamento Colombiano de Construcción Sismo resistente (NSR), al cual se le han realizado distintas actualizaciones que por desgracia se han realizado después de catástrofes ocurridas en el país, por esta razón, el desarrollo de este trabajo se fundamenta en los distintos cambios que se desarrollaron en la actualización de la NSR-98 a la última versión de la NSR-10.

Para el desarrollo de este problema es necesario realizar un estudio detallado de las dos normas para tener claridad de las distintas normas técnicas que sufrieron los cambios y especificar por qué fue necesario su cambio y si en su nueva actualización habrá una respuesta adecuada a la hora de un desastre.

También es de suma importancia estudiar, si los ajustes en la normatividad afectan los costos del proyecto, desde los materiales y/o hasta los operarios que se van a utilizar en la obra.

5. DELIMITACIÓN

5.1 Espacio. La presente investigación fue realizada en la ciudad de Bogotá.

5.2 Tiempo. Este documento se desarrolló en aproximadamente siete (7) meses durante el transcurso del presente año.

5.3 Contenido. El documento consiste en la comparación de la norma colombiana sismo resistente del año 1998 (NSR-98) y la presente norma NSR-10. Dentro del documento se encuentran temas como la historia, el desarrollo, sistemas estructurales, actualizaciones que sufrió la norma y el respectivo análisis desde el punto de vista estructural y económico. Además, se realiza la comparación de las normas a través de una edificación que fue desarrollada con la antigua norma, y que fue ajustada con la norma actual.

5.4 Alcance y limitaciones. El desarrollo de este trabajo no involucró temas relacionados a los riesgos y seguridad social dentro de una obra, de igual manera, no se analiza a fondo las tarifas de arrendamiento para equipos de construcción. El desarrollo de este trabajo está enfocado a la parte investigativa a través de una comparación técnica de la primera versión del Reglamento Colombiano de Construcción Sismo Resistente NSR-98 y la versión de la NSR-10, mediante la realización de esta temática se busca que el lector tenga acceso a un documento donde identifique fácilmente cuales han sido los cambios más significados que ha sufrido el Reglamento Colombiano en temas relacionados a los procesos constructivos y como afecta en términos de costos a las industrias de la construcción en Colombia, con el fin de satisfacer las necesidades y requerimientos de las personas. La realización de este trabajo será netamente investigativa debido a que los tiempos dispuestos por la universidad son muy cortos, lo que impide efectuar salidas al campo.

6. OBJETIVOS

6.1 General

- Elaborar una comparación técnica entre la NSR-98 y la NSR-10 en edificaciones en la ciudad de Bogotá.

6.2 Específicos

- Realizar una comparación entre dos edificaciones en la ciudad de Bogotá siendo una construida con los parámetros de la NSR-98 y la otra con los parámetros de la NSR-10.
- Determinar parámetros de diseño que sobresalgan en el punto de vista de la estructura y su importancia a la hora de soportar una catástrofe.
- Identificar cuáles han sido las actualizaciones con mayor grado de importancia que ha sufrido la norma desde la primera versión expedida hasta el día de hoy.
- Relacionar los modelos constructivos en términos de calidad y seguridad de las dos edificaciones evaluadas a partir del cumplimiento de los requerimientos dispuestos en cada versión.

7. MARCO DE REFERENCIA

7.1 MARCO TEÓRICO

7.1.1 Sismo. Un sismo son sacudidas o movimientos bruscos del terreno, generalmente producidos por disturbios tectónicos (ocasionado por fuerzas que tienen su origen en el interior de la Tierra) o volcánicos (producido por la extrusión de magma hacia la superficie). En ambos casos hay una liberación de energía acumulada que se transmite en forma de ondas elásticas, causando vibraciones y oscilaciones a su paso a través de las rocas sólidas del manto y la litosfera hasta 'arribar' a la superficie terrestre⁵.

7.1.2 Suelos susceptibles y frágiles para un sismo. Los suelos blandos, lacustres (generalmente arcillosos), granulados sueltos saturados, tales como arenas sedimentadas o arenas y gravas que contienen vetas de sedimentos impermeables. Los anteriores tipos de suelo son poco resistentes a la hora de construir una edificación o una estructura que tenga cargas muy grandes.

Los suelos más susceptibles a un por terremoto son aquellos formados por depósitos jóvenes (producidos durante el Holoceno, depositados durante los últimos 10,000 años de arenas y sedimentos de tamaños de partículas similares, en capas de por lo menos más de un metro de espesor, y con un alto contenido de agua saturadas). Tales depósitos por lo general se presentan en los lechos de ríos, playas, dunas, y áreas

⁵ FUNVISIS. (Agosto de 2017). Fundación Venezolana de investigaciones sismológicas. Obtenido de Fundación venezolana de investigaciones sismológicas: <http://www.funvisis.gov.ve/objetosa/temblortierra/qesismo.html>

donde se han acumulado arenas y sedimentos arrastrados por el viento y/o cursos de agua⁶.

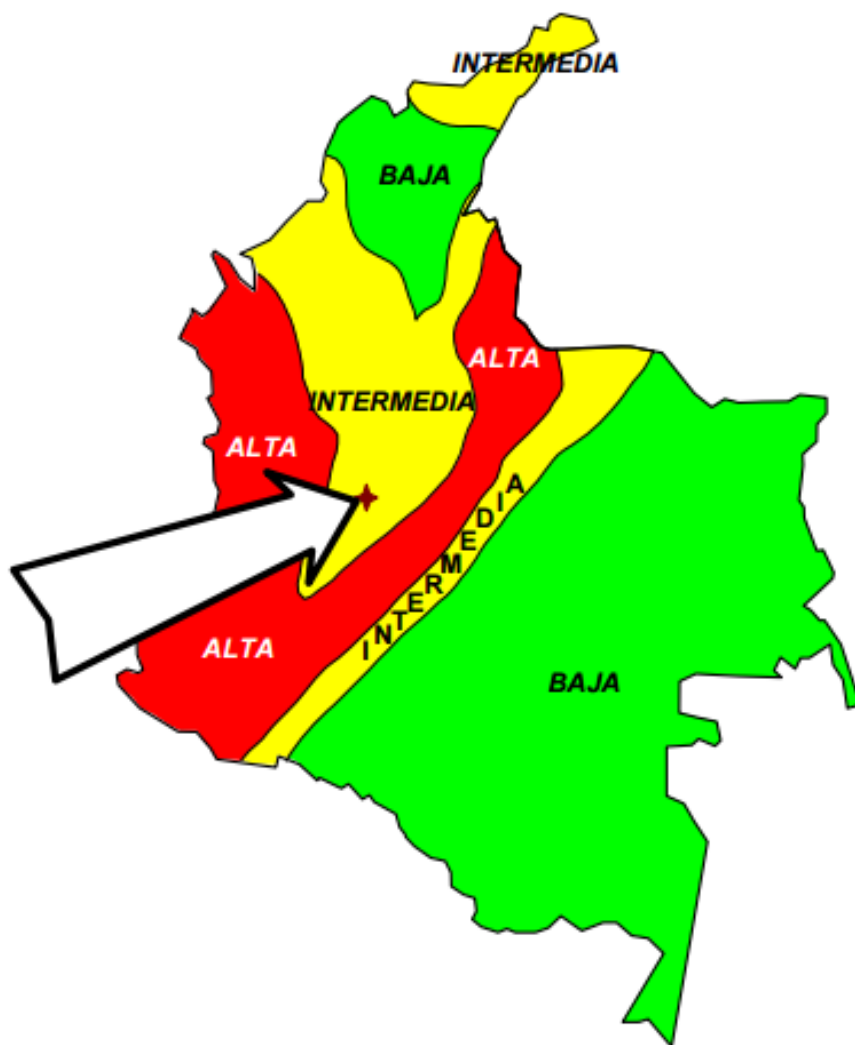
7.1.3 Zonas de gran susceptibilidad a los terremotos y licuación de suelos en Colombia. Colombia desde hace muchos años ha sufrido una serie de Sismos que generan principalmente por las placas Suramérica y Nazca, la iteración de estas dos placas tectónicas ha afectado no solo a Colombia sino a los países vecinales.

Una de las zonas más vulnerables es la zona andina es en sí una zona de riesgo sísmico en Colombia. En primer nivel los sismos son intensos hacia la costa Pacífica y hacia el Sur y centro Occidente de Colombia. También se generan bruscos sismos en el Oriente antioqueño, la región del Magdalena Medio y occidente de Santander. Los andes de Colombia hacen parte del Cinturón de Fuego del Pacífico, una de las zonas sísmicamente más activas del planeta.

Colombia es uno de los puntos más propensos a sismos que hay en el mundo. Departamentos como Chocó, Risaralda, Quindío, Caldas, Valle del Cauca, Cauca, Nariño, Putumayo, Huila, Santander y Norte de Santander están ubicados según el mapa de amenaza sísmica de Colombia en zonas de alto riesgo como se muestra en la siguiente figura.

⁶ GARCIA PRIETO, J. A. (Agosto de 2014). SENA. Obtenido de SENA:
<http://es.slideshare.net/jguzman541/sismo-resistencia-y-las-normas-NSR10>

Ilustración 1 Zonas de Amenaza sísmica en Colombia



Fuente: NSR-10-Reglamento Sismo-Resistente, Bogotá D.C, 2010, prefacio p. XXIV

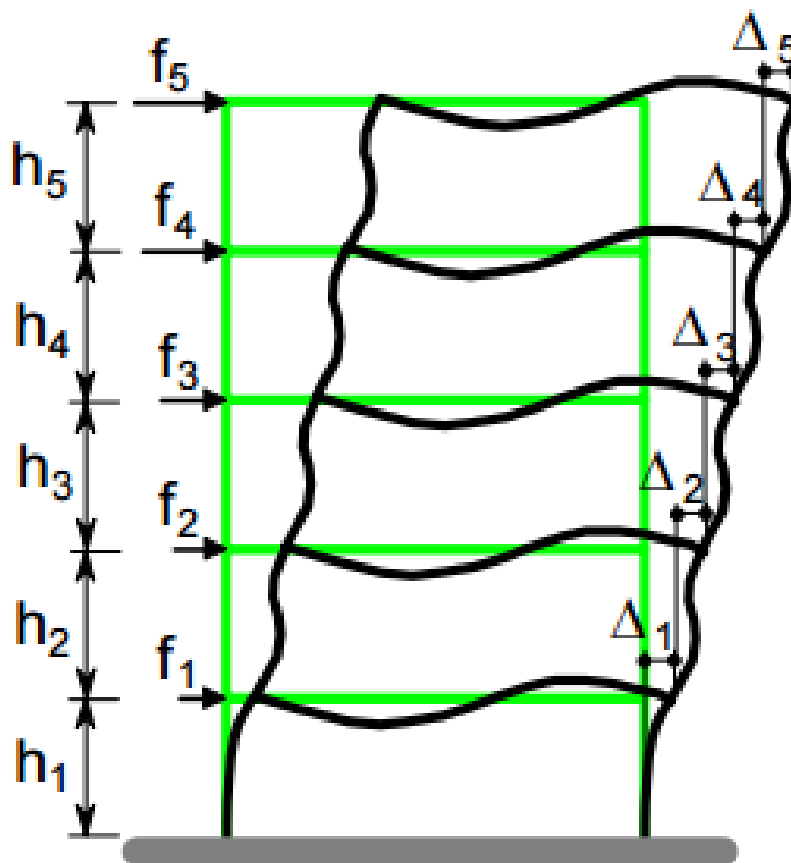
7.1.4 Detección de sismos. Los movimientos de placas se detectan con sismógrafos y acelerógrafos. Puesto que durante los sismos el terreno se mueve en todas direcciones (horizontal y vertical), estos aparatos nos ayudan a medir el tamaño del movimiento en estas direcciones⁷.

7.1.5 Efecto de los sismos en una construcción. Un sismo o temblor es un fenómeno en que el terreno se mueve repetidamente en todas direcciones. Cuando se somete una construcción a movimiento horizontal del terreno, se generan fuerzas laterales (fuerzas de inercia o fuerzas sísmicas). Las fuerzas a que es sometida la estructura dependen de su masa y de su altura; mientras más peso en la parte superior, mayor es la fuerza lateral que se generará en la construcción. Estas fuerzas sísmicas se transmiten del techo (o la losa del piso superior) hacia los elementos resistentes (muros, columnas), que a su vez las transmite a los pisos inferiores y finalmente a la cimentación, que transmite dichas fuerzas al terreno de apoyo. Para resistir estas fuerzas la estructura debe tener una cantidad y distribución adecuada de elementos resistentes como columnas o muros de carga, así como elementos horizontales (trabes y losas) que distribuyan las fuerzas sísmicas entre dichos elementos. Cuando se excede la resistencia de los elementos estructurales la edificación sufre daños como agrietamientos, aplastamientos o grandes deformaciones que pueden llegar a causar incluso el colapso (el derrumbe total del edificio)⁸.

⁷ CIVIL, C. G. (Julio de 2009). Centro Nacional de Prevención de Desastres. Obtenido de <http://www.gob.mx/proteccion-civil>

⁸ UNAM. (2009). SEGOB. Obtenido de SEGOB: <http://www.cenapred.unam.mx/es/preguntasfrecuentes/faqpopo3.html>

Ilustración 2 Desplazamiento Horizontal o Deriva



Fuente: NSR-10-Reglamento Sismo-Resistente, Bogotá D.C, 2010, prefacio p. XV

7.1.6 Sismo resistencia. El sismo resistencia es una propiedad que se le asigna a una edificación, mediante la aplicación de técnicas de diseño de su configuración geométrica y la incorporación en su constitución física, de componentes estructurales especiales que la capacitan para resistir las fuerzas que se presentan durante un movimiento sísmico, lo que se traduce en protección de la vida de los ocupantes y de la integridad del edificio mismo⁹.

7.1.7 Edificación sismo resistente. Una edificación es sismo resistente cuando se diseña y construye con una adecuada configuración estructural, con componentes de dimensiones apropiadas y materiales con una proporción y resistencia suficientes para soportar la acción de fuerzas causadas por sismos frecuentes.

Para tener una casa sismo resistente se deben cumplir unas condiciones en cuanto a la colocación de los muros, el grueso de las paredes, si van a ser cargueros, o si son divisorios, la forma de colocar las vigas de amarre, las cintas de culata y cómo lograr la continuidad que estos elementos deben tener al momento de construir para que actúen adecuadamente durante un sismo¹⁰.

⁹ GARCIA PRIETO, J. A. (Agosto de 2014). SENA. Obtenido de SENA: <http://es.slideshare.net/jguzman541/sismo-resistencia-y-las-normas-NSR10>

¹⁰ ARQUIGRAFICO. (2016). Arquigrafico. Obtenido de Arquigrafico: <http://www.arquigrafico.com/es-una-edificacion-sismo-resistente/>

7.1.8 Requisitos generales de diseño y construcción sismo resistente.

7.1.8.1 Estudios geotécnicos. Conjunto de actividades que comprenden el reconocimiento de campo, la investigación del subsuelo, los análisis y recomendaciones de ingeniería necesarios para el diseño y construcción de las obras en contacto con el suelo, de tal forma que se garantice un comportamiento adecuado de la edificación, protegiendo ante todo la integridad de las personas ante cualquier fenómeno externo, además de proteger vías, instalaciones de servicios públicos, predios y construcciones vecinas.¹¹

7.1.8.2 Diseño arquitectónico. Se busca que el estudiante comprenda las edificaciones como aquellos elementos que definen la forma urbana, pero también como generadoras de la imagen, pues son ellas, como referentes en la ciudad, las que pueden señalar las secuencias visuales más importantes o la ausencia y necesidad de las mismas en cualquier contexto. La percepción visual constituye el primer eslabón que nos pone en contacto con el mundo que nos rodea. Al desplazarnos por la ciudad aprehendemos formas edificadas ordenadas y significativas, porque la percepción se organiza como sistema estable en la relación de las partes con el todo y de las partes entre sí, de acuerdo con esquemas o conceptos¹².

¹¹ SISMICAS, C. A. (Marzo de 2010). Reglamento Colombiano de Construcción Sismo Resistente. Obtenido de Reglamento Colombiano de Construcción Sismo Resistente: http://www.culturarecreacionydeporte.gov.co/sites/default/files/reglamento_construccion_sismo_resistente.pdf

¹² MORELLA, B. A. (25 de JUNIO de 2011). PROVINCIA. Obtenido de <http://www.redalyc.org/pdf/555/55519834006.pdf>

7.1.8.3 Diseño estructural. Esta etapa define el sistema o sistemas estructurales que, de manera global, darán a la construcción resistencia y rigidez para que responda satisfactoriamente ante las acciones (cargas) a las que previsiblemente pueda someterse. La definición de estos sistemas se lleva a cabo junto con la selección de los materiales que mejor se adapten al sistema elegido. La estructuración es la parte esencial del proceso de diseño ya que impactará en el resto del proyecto estructural; por ejemplo, en el caso de un edificio, es en esta etapa donde se define si la estructura será de concreto reforzado o de acero. También se define si el edificio se “estructura” con marcos, con muros, con marcos contraventeados o con una combinación de algunos de ellos. El criterio y la creatividad del ingeniero estructural juegan un papel muy importante en este punto, particularmente en el caso de estructuras de formas poco común ¹³.

7.1.9 Factores determinantes de diseño. Son factores que de una forma u otra y en mayor o menor magnitud, inciden en la concepción de un proyecto, limitándolo en su desarrollo.

7.1.9.1 Localización general. Indica la ubicación de la construcción en el terreno con respecto a las construcciones y de más elementos que le son vecinos (vías, zonas verdes). Debe colocarse la orientación señalando con una flecha el norte en el plano¹⁴.

¹³ MARTINEZ, J. D. (JUNIO de 2000). CIENCIA ERGO SUM. Obtenido de: <http://www.redalyc.org/pdf/104/10401812.pdf>

¹⁴ FIGUEROA, G. (2017). CARTILLA PROCESO CONSTRUCTIVO EN EDIFICACIONES. Obtenido de: http://www.academia.edu/11050598/CARTILLA_PROCESO_CONSTRUCTIVO_EN_EDIFICACIONES

7.1.10 Microzonificación sísmica en Colombia.

7.1.10.1 Espectros de aceleración de diseño.

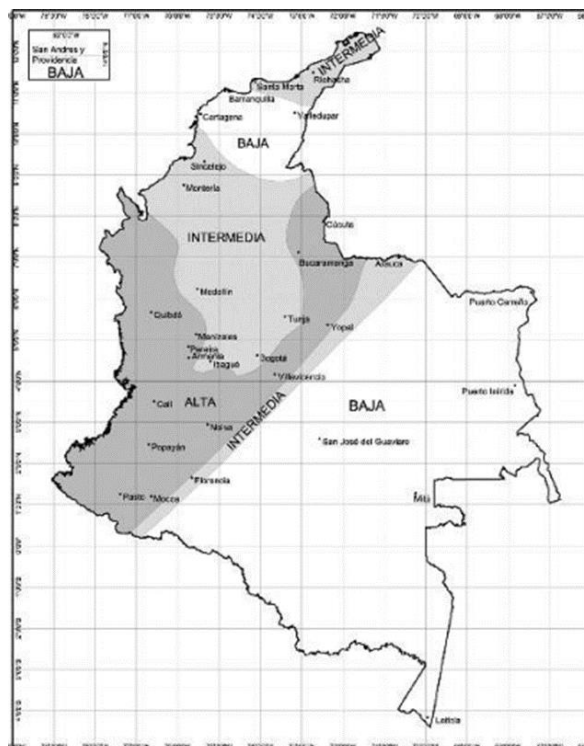
A_a : Aceleración pico efectiva horizontal de diseño para períodos de vibración cortos expresada como fracción de la aceleración de la gravedad, $g = 9.8 \text{ m/s}^2$ ¹⁵.

A_v : Aceleración pico efectiva horizontal de diseño para períodos de vibración intermedios expresada como fracción de la aceleración de la gravedad, $g = 9.8 \text{ m/s}^2$ ¹⁶.

¹⁵ AIS, A. C. (MARZO de 2010). REGLAMENTO COLOMBIANO DE CONSTRUCCION SISMO RESISTENTE NSR-10. Obtenido de http://www.culturarecreacionydeporte.gov.co/sites/default/files/reglamento_construccion_sismo_resistente.pdf

¹⁶ AIS, A. C. (MARZO de 2010). REGLAMENTO COLOMBIANO DE CONSTRUCCION SISMO RESISTENTE NSR-10. Obtenido de http://www.culturarecreacionydeporte.gov.co/sites/default/files/reglamento_construccion_sismo_resistente.pdf

Ilustración 3 Zonas de Amenaza Sísmica aplicable a edificaciones para la NSR-10 en función de A_a y A_v .



Fuente: NSR-10-Reglamento Sismo-Resistente, Bogotá D.C., 2010, p. 17

7.1.10.2 Zonas de amenaza sísmica en Colombia

Zona de amenaza sísmica baja. Es el conjunto de lugares en donde tanto A_a (Aceleración horizontal pico efectiva) como A_v (velocidad horizontal pico efectiva) son menores o iguales a 0.10.

Zona de amenaza sísmica intermedia. Es el conjunto de lugares en donde tanto A_a como A_v son mayores de 0.10 y ninguno de los dos excede 0.20.

Zona de amenaza sísmica alta. Es el conjunto de lugares en donde tanto A_a como A_v son mayores que 0.20¹⁷.

Los valores de A_a y A_v según la zona sísmica están dados a partir de la siguiente tabla:

Tabla 1 Amenaza sísmica según los valores de A_a y A_v

Mayor valor entre A_a y A_v	Asociado a Región N°	Amenaza Sísmica
0.05	10	Alta
0.10	9	Alta
0.15	8	Alta
0.20	7	Alta
0.25	6	Alta
0.30	5	Alta
0.35	4	Intermedia
0.40	3	Intermedia
0.45	2	Baja
0.50	1	Baja

Fuente: Autores.

¹⁷ AIS, A. C. (MARZO de 2010). REGLAMENTO COLOMBIANO DE CONSTRUCCION SISMO RESISTENTE NSR-10. Obtenido de http://www.culturarecreacionydeporte.gov.co/sites/default/files/reglamento_construccion_sismo_resistente.pdf

7.1.11 Especificaciones técnicas de los materiales.

Para la ejecución de un proyecto estructural, las especificaciones de los materiales deben seguirse al pie de la letra que se estipule tanto como en memoria de cálculos como en planos estructurales. Cualquier cambio hecho a los materiales deberá ser consultado y aprobado por el ingeniero calculista.

7.1.12 Sistemas estructurales. Se reconocen cuatro tipos generales de sistemas estructurales de resistencia sísmica, los cuales se definen en la sección A.3.2.1 de la norma NSR-98 y la NSR-10, cada uno de ellos se subdivide según los tipos de elementos verticales utilizados para resistir las fuerzas sísmicas y el grado de capacidad de disipación de energía del material estructural empleado.

Los sistemas estructurales de resistencia sísmica son:

- **Sistema de muros de carga.** Es un sistema estructural que no dispone de un pórtico esencialmente completo y en el cual las cargas verticales son resistidas por los muros de carga y las fuerzas horizontales son resistidas por muros estructurales o pórticos con diagonales.

- **Sistema combinado.** Es un sistema estructural en el cual: **a).** las cargas verticales son resistidas por un pórtico no resistente a momentos, esencialmente completo, y las fuerzas horizontales son resistidas por muros estructurales o pórticos con diagonales, o **b).** las cargas verticales y horizontales son resistidas por un pórtico resistente a momentos, esencialmente completo, combinado con muros estructurales o pórticos con diagonales, y que no cumple los requisitos de un sistema dual.
- **Sistema de pórtico.** Es un sistema estructural compuesto por un pórtico espacial, resistente a momentos, esencialmente completo, sin diagonales, que resiste todas las cargas verticales, y fuerzas horizontales.
- **Sistema dual.** Es un sistema estructural compuesto por un pórtico espacial resistente a momentos y sin diagonales, combinado con muros estructurales o pórticos con diagonales¹⁸.

7.1.13 Métodos de análisis estructural

7.1.13.1 Método de la fuerza horizontal equivalente. El sistema de la fuerza horizontal equivalente FHE, es utilizado para evaluar las fuerzas sísmicas de diseño y consiste en reemplazar las fuerzas del sismo por fuerzas laterales F_x , que son aplicadas a nivel de piso, equilibrando el cortante de base¹⁹.

¹⁸ AIS, A. C. (MARZO de 2010). REGLAMENTO COLOMBIANO DE CONSTRUCCION SISMO RESISTENTE NSR-10. Obtenido de

http://www.culturarecreacionydeporte.gov.co/sites/default/files/reglamento_construccion_sismo_resistente.pdf

¹⁹ BAZAN, E. (1998). Diseño sísmico de edificios. En E. BAZAN. México: Limusa.

La NSR-10 en la sección A.3.4.2.1 establece unas condiciones para poder utilizar dicho método, las medidas a tomar en cuenta son:

- Todas las edificaciones, regulares e irregulares, en la zona de amenaza sísmica baja.
- Todas las edificaciones, regulares e irregulares, pertenecientes al grupo de uso Localizadas en zona de amenaza sísmica intermedia.
- Edificaciones irregulares que no tengan más de 6 niveles o 18 m de altura medidos desde la base.
- Edificios regulares, de veinte niveles o menos, y 60 m de altura, o menos, medidos desde la base, en cualquier zona de amenaza sísmica, excepto las edificaciones localizadas en lugares que tengan un perfil de tipo D, E o F con periodo de vibración mayor de $2T_c$.
- Estructuras flexibles apoyadas sobre estructuras más rígidas que cumplan los requisitos de la NSR-10.

7.1.13.2 Método de análisis dinámico elástico. Es el tipo de análisis dinámico en el cual las propiedades de rigidez y resistencia de la estructura permanecen dentro del rango de respuesta lineal.

7.1.13.3 Método de análisis dinámico inelástico. Es el tipo de análisis dinámico en el cual se tiene en cuenta que la rigidez y resistencia de la estructura pueden salirse del rango de respuesta inelástica²⁰.

7.1.14 Fuerza horizontal equivalente.

7.1.14.1 Tipos de perfil de suelo. Se definen seis tipos de perfil del suelo. Los parámetros utilizados en la clasificación son los correspondientes a los 30 metros superiores del perfil para los perfiles tipo A a E. Aquellos perfiles que tengan estratos claramente diferenciales deben subdividirse, asignándoles un subíndice *i* que va desde 1 en la superficie, hasta *n* en la parte inferior de los 30 metros superiores del perfil. Para el perfil tipo F se aplican otros criterios y la respuesta no debe limitarse a los 30 metros superiores del perfil en los casos de perfiles con espesor de suelo significativo²¹.

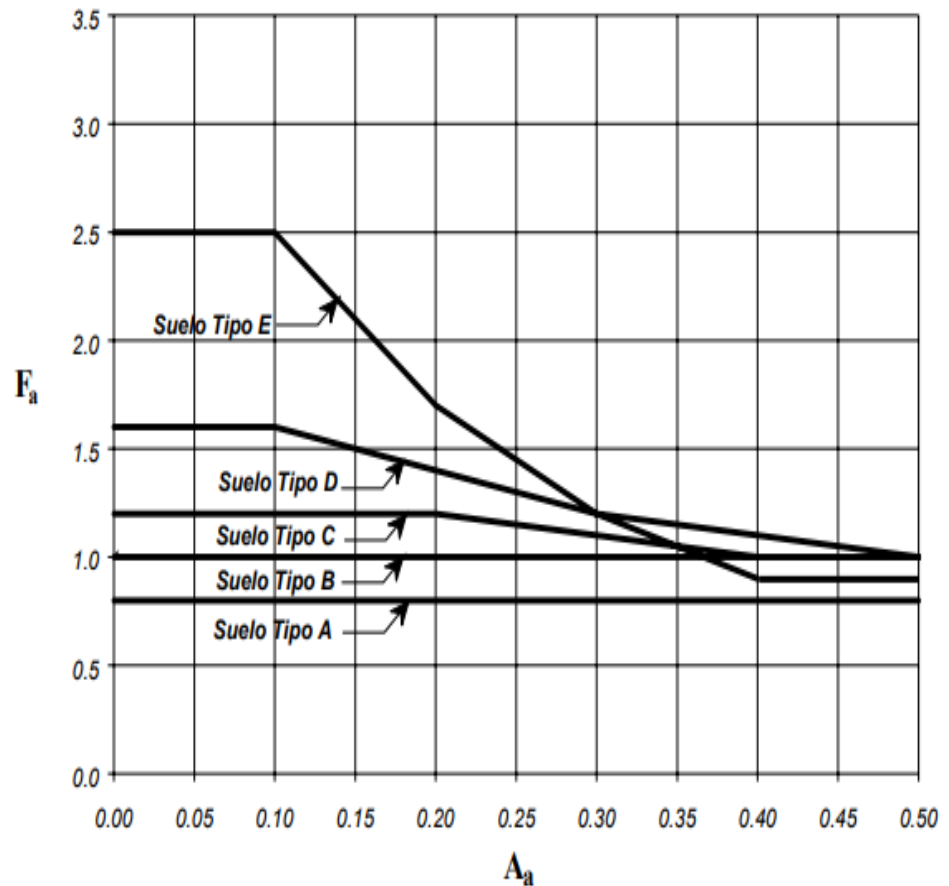
7.1.14.2 Efectos locales.

F_a = Coeficiente de amplificación que afecta la aceleración en la zona de periodos cortos, debida a los efectos de sitio, adimensional.

²⁰ AIS, A. C. (MARZO de 2010). REGLAMENTO COLOMBIANO DE CONSTRUCCION SISMO RESISTENTE NSR-10. Obtenido de http://www.culturarecreacionydeporte.gov.co/sites/default/files/reglamento_construccion_sismo_resistente.pdf

²¹ AIS, A. C. (MARZO de 2010). REGLAMENTO COLOMBIANO DE CONSTRUCCION SISMO RESISTENTE NSR-10. Obtenido de http://www.culturarecreacionydeporte.gov.co/sites/default/files/reglamento_construccion_sismo_resistente.pdf

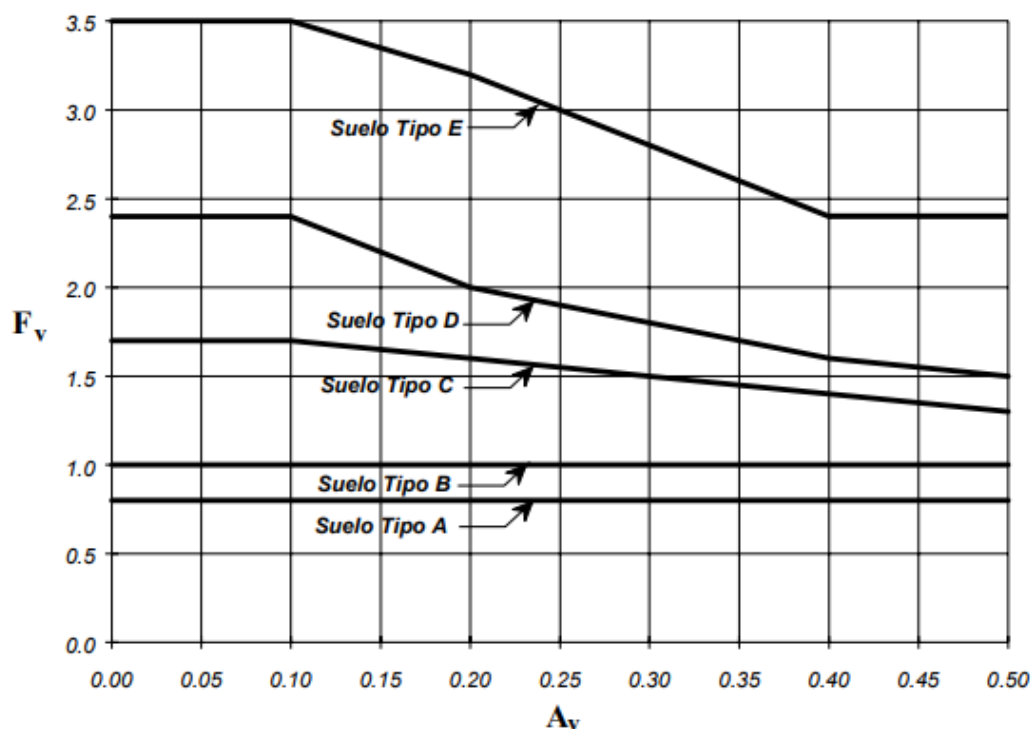
Ilustración 4 Coeficiente de amplificación F_a del suelo para la zona de periodos cortos del espectro.



Fuente: NSR-10-Reglamento Sismo-Resistente, Bogotá D.C, 2010, p. 24

F_v = Coeficiente de amplificación que afecta la aceleración en la zona de periodos intermedios, debida a los efectos de sitio, adimensional.

Ilustración 5 Coeficiente de amplificación F_a del suelo para la zona de periodos cortos del espectro



Fuente: NSR-10-Reglamento Sismo-Resistente, Bogotá D.C, 2010, p. 24

S = Coeficiente de sitio para cada tipo de perfil del suelo.

7.1.14.3 Coeficiente de importancia.

7.1.14.3.1 Grupos de uso.

Todas las edificaciones deben clasificarse dentro de uno de los siguientes grupos de uso:

Grupo IV. Edificaciones indispensables – Son aquellas edificaciones de atención a la comunidad que deben funcionar durante y después de un sismo, y cuya operación no puede ser trasladada rápidamente a un lugar alternativo. Este grupo debe incluir:

- Hospitales de niveles de complejidad 2 y 3.
- Clínicas y centros de salud que dispongan de servicios de cirugía y atención de urgencias.
- Edificaciones de centrales telefónicas, de telecomunicación y de radiodifusión.
- Edificaciones de centrales de operación y control de líneas vitales de energía eléctrica, agua, combustibles, información y transporte de personas y productos.
- Estructuras que alberguen plantas de generación eléctrica de emergencia, los tanques y estructuras que formen parte de sus sistemas contra incendio, y los accesos, peatonales y vehiculares, a estas edificaciones²².

Grupo III. Edificaciones de atención a la comunidad - Este grupo comprende aquellas edificaciones, y sus accesos, que son

²² AIS, A. C. (MARZO de 2010). REGLAMENTO COLOMBIANO DE CONSTRUCCION SISMO RESISTENTE NSR-10. Obtenido de http://www.culturarecreacionydeporte.gov.co/sites/default/files/reglamento_construccion_sismo_resistente.pdf

indispensables después de un temblor para atender la emergencia y preservar la salud y la seguridad de las personas, exceptuando las incluidas en el Grupo IV. Este grupo debe incluir:

- Estaciones de bomberos, defensa civil, policía, cuarteles de las fuerzas armadas, y sedes de las oficinas de prevención y atención de desastres.
- Garajes de vehículos de emergencia.
- Estructuras y equipos de centros de atención de emergencias.
- Aquellas otras que la administración municipal designe como tales.

Grupo II. Estructuras de ocupación especial - Cubre las siguientes estructuras:

- Edificaciones en donde se puedan reunir más de 200 personas en un mismo salón.
- Guarderías, escuelas, colegios, universidades.
- Graderías al aire libre donde pueda haber más de 2000 personas a la vez.

- Almacenes y centros comerciales con más de 500 m² por piso.
- Edificaciones donde trabajen o residan más de 3000 personas.
- Edificios gubernamentales²³.

Grupo I. Estructuras de ocupación normal – Todas las edificaciones cubiertas por el alcance de este Reglamento, pero que no se han incluido en los Grupos II, III y IV²⁴.

7.1.14.3.2 Coeficiente de importancia.

El Coeficiente de Importancia, I, modifica el espectro de acuerdo con el grupo de uso a que esté asignada la edificación.

7.1.14.4 Espectro de diseño.

7.1.14.4.1 Espectro de aceleraciones.

La forma del espectro elástico de aceleraciones S_a , expresada como una fracción de la gravedad, para un coeficiente de cinco por ciento del amortiguamiento crítico, que se debe utilizar en el diseño.

²³ AIS, A. C. (MARZO de 2010). REGLAMENTO COLOMBIANO DE CONSTRUCCION SISMO RESISTENTE NSR-10. Obtenido de http://www.culturarecreacionydeporte.gov.co/sites/default/files/reglamento_construccion_sismo_resistente.pdf

²⁴ AIS, A. C. (MARZO de 2010). REGLAMENTO COLOMBIANO DE CONSTRUCCION SISMO RESISTENTE NSR-10. Obtenido de http://www.culturarecreacionydeporte.gov.co/sites/default/files/reglamento_construccion_sismo_resistente.pdf

Ecuación 1 Espectro elástico de aceleraciones

$$S_a = \frac{1.2A_v F_v I}{T}$$

Donde:

- S_a - valor del espectro de aceleraciones de diseño para un periodo de vibración dado. Máxima aceleración horizontal de diseño, expresada como una fracción de aceleración de la gravedad, para un sistema de un grado de libertad con un periodo de vibración T .
- I - coeficiente de importancia.
- F_v - coeficiente de amplificación que afecta la aceleración en la zona de periodos intermedios, debida a los efectos de sitio.
- A_v - coeficiente que representa la velocidad horizontal pico efectiva, para diseño.
- T - periodo de vibración del sistema elástico.

Para periodos de vibración menores de T_c es:

Ecuación 2 Periodo de vibración para periodos cortos

$$T_c = 0.48 \frac{A_v F_v}{A_a F_a}$$

Ecuación 3 Espectro elástico de aceleraciones para periodos cortos

$$S_a = 2.5A_aF_aI$$

Donde:

- F_a - coeficiente de amplificación que afecta la aceleración en la zona de periodos cortos, debida a los efectos de sitio.
- F_v - coeficiente de amplificación que afecta la aceleración en la zona de periodos intermedios, debida a los efectos de sitio.
- A_v - coeficiente que representa la velocidad horizontal pico efectiva, para diseño.
- A_a - coeficiente que representa la aceleración horizontal pico efectiva, para diseño.
- I - coeficiente de importancia.
- S_a - valor del espectro de aceleraciones de diseño para un periodo de vibración dado. Máxima aceleración horizontal de diseño, expresada como una fracción de la aceleración de la gravedad, para un sistema de un grado de libertad con un periodo de vibración T .
- T_c - periodo de vibración, en segundos, correspondientes a la transición entre la zona de aceleración constante del espectro

de diseño, para periodos cortos, y la parte descendiente del mismo²⁵.

Para periodos de vibración mayores de T_L , es:

Ecuación 4 Periodo de vibración para periodos largos

$$T_L = 2.4F_v$$

Ecuación 5 Espectro elástico de aceleraciones para periodos largos

$$S_a = \frac{1.2A_v F_v T_L I}{T^2}$$

Donde:

- F_v - coeficiente de amplificación que afecta la aceleración en la zona de periodos intermedios, debida a los efectos de sitio.
- A_v - coeficiente que representa la velocidad horizontal pico efectiva, para diseño.
- I - coeficiente de importancia.
- S_a - valor del espectro de aceleraciones de diseño para un periodo de vibración dado. Máxima aceleración horizontal de diseño, expresada como una fracción de la aceleración de la

²⁵ AIS, A. C. (MARZO de 2010). REGLAMENTO COLOMBIANO DE CONSTRUCCION SISMO RESISTENTE NSR-10. Obtenido de http://www.culturarecreacionydeporte.gov.co/sites/default/files/reglamento_construccion_sismo_resistente.pdf

gravedad, para un sistema de un grado de libertad con un periodo de vibración T .

- T_L - periodo de vibración, en segundos, correspondientes al inicio de la zona de desplazamiento aproximadamente constante del espectro de diseño, para periodos largos.
- T - periodo de vibración del sistema elástico²⁶.

Cuando se utilice el análisis dinámico, para períodos de vibración diferentes del fundamental, en la dirección en estudio, menores de T_o es:

Ecuación 6 Periodo de vibración en la zona de aceleraciones constantes

$$T_o = 0.1 \frac{A_v F_v}{A_a F_a}$$

Ecuación 7 Espectro elástico de aceleraciones en la zona de aceleraciones constantes

$$S_a = 2.5 A_a F_a I (0.4 + 0.6 \frac{T}{T_o})$$

²⁶ AIS, A. C. (MARZO de 2010). REGLAMENTO COLOMBIANO DE CONSTRUCCION SISMO RESISTENTE NSR-10. Obtenido de http://www.culturarecreacionydeporte.gov.co/sites/default/files/reglamento_construccion_sismo_resistente.pdf

7.1.14.4.2 Espectro de velocidades.

La forma del espectro elástico de velocidades en m/s, para un coeficiente de cinco por ciento (5%) del amortiguamiento crítico, que se debe utilizar en el diseño²⁷.

Ecuación 8 Espectro elástico de velocidades

$$S_v = 1.87 A_v F_v I \left(\frac{m}{s} \right)$$

Para períodos de vibración menores de T_c , la ecuación es la siguiente:

Ecuación 9 Espectro elástico de velocidades para periodos cortos

$$S_v = 3.9 A_a F_a T I \left(\frac{m}{s} \right)$$

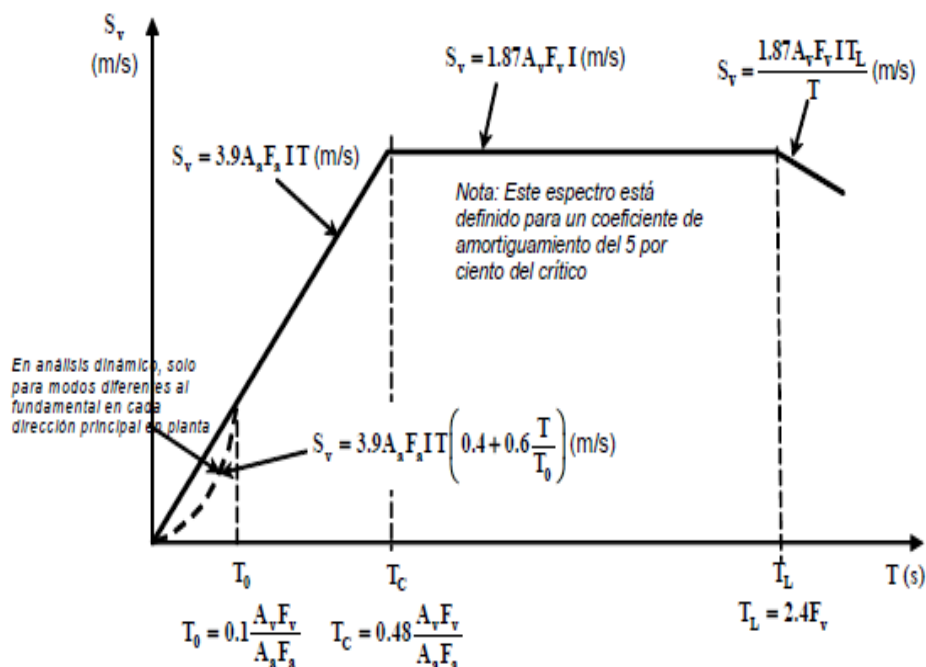
Para períodos de vibración mayores que T_L , la ecuación es la siguiente:

Ecuación 10 Espectro elástico de velocidades para periodos largos

$$S_v = \frac{1.87 A_v F_v I T_L}{T}$$

²⁷ AIS, A. C. (MARZO de 2010). REGLAMENTO COLOMBIANO DE CONSTRUCCION SISMO RESISTENTE NSR-10. Obtenido de http://www.culturarecreacionydeporte.gov.co/sites/default/files/reglamento_construccion_sismo_resistente.pdf

Ilustración 6 Espectro elástico de velocidades de diseño (m/s)



Fuente: NSR-10-Reglamento Sismo-Resistente, Bogotá D.C, 2010, p. 28

7.1.14.4 Espectro de desplazamientos.

La forma del espectro elástico de desplazamientos en m, para un coeficiente de cinco por ciento (5%) del amortiguamiento crítico²⁸.

Ecuación 11 Espectro elástico de desplazamientos

$$S_d = 0.3 A_v F_v I T \text{ (m)}$$

Para períodos de vibración menores de T_c , es la siguiente ecuación:

²⁸ AIS, A. C. (MARZO de 2010). REGLAMENTO COLOMBIANO DE CONSTRUCCION SISMO RESISTENTE NSR-10. Obtenido de http://www.culturarecreacionydeporte.gov.co/sites/default/files/reglamento_construccion_sismo_resistente.pdf

Ecuación 12 Espectro elástico de desplazamientos para periodos cortos

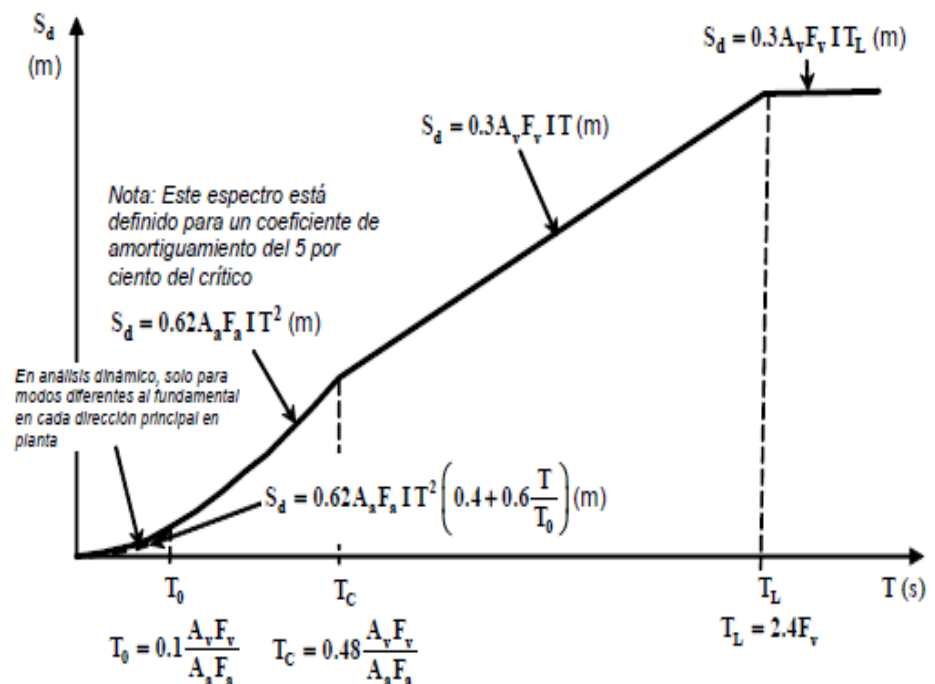
$$S_d = 0.62A_a F_a I T^2 \text{ (m)}$$

Para períodos de vibración mayores que T_L , es la siguiente ecuación:

Ecuación 13 Espectro elástico de desplazamientos para periodos largos

$$S_d = 0.3A_v F_v I T_L \text{ (m)}$$

Ilustración 7 Espectro elástico de desplazamientos de diseño (m)



Fuente: NSR-10-Reglamento Sismo-Resistente, Bogotá D.C, 2010, p. 29

7.1.14.5 Fuerzas sísmicas horizontales equivalentes.

T_a = Periodo de vibración fundamental aproximado, en segundos. Es el tiempo que transcurre dentro de un movimiento armónico ondulatorio, o vibratorio, para que éste se repita.

V_s = Es el cortante sísmico en la base, equivalente a la totalidad de los efectos inerciales horizontales producidos por los movimientos sísmicos de diseño, en la dirección en estudio.

F_x = Es la fuerza sísmica horizontal en cualquier nivel x, para la dirección en estudio²⁹

7.1.15 Configuración estructural de la edificación.

Se entiende por configuración estructural de la edificación, no solamente la forma exterior de ella y su tamaño, sino la naturaleza, las dimensiones y la localización de los elementos estructurales, y no estructurales, que afecten el comportamiento de la edificación ante los sismos.

7.1.15.1 Reducción del valor de R para estructuras irregulares y con ausencia de redundancia.

Cuando una estructura se clasifique como irregular, el valor del coeficiente de capacidad de disipación de energía R que se utilice en el diseño sísmico de la edificación, debe reducirse multiplicándolo por ϕ_p , debido a irregularidades en planta, por ϕ_a debido a irregularidades en altura, y por ϕ_r debido a ausencia de redundancia.

²⁹ AIS, A. C. (MARZO de 2010). REGLAMENTO COLOMBIANO DE CONSTRUCCION SISMO RESISTENTE NSR-10. Obtenido de http://www.culturarecreacionydeporte.gov.co/sites/default/files/reglamento_construccion_sismo_resistente.pdf

Ecuación 14 *valor de R para estructuras irregulares y con ausencia de redundancia.*

$$R = \phi_a \phi_p \phi_r R_0$$

Cuando una edificación tiene varios tipos de irregularidad en planta simultáneamente, se aplica el menor valor de ϕ_p . Análogamente, cuando una edificación tiene varios tipos de irregularidad en altura simultáneamente, se aplica el menor valor de ϕ_a ³⁰.

7.1.15.2 Ausencia de redundancia en el sistema estructural de resistencia sísmica.

Debe asignarse un factor de reducción de resistencia por ausencia de redundancia en el sistema estructural de resistencia sísmica ϕ_r , en las dos direcciones principales en planta.

7.1.15.2.1 En edificaciones con un sistema estructural con capacidad de disipación de energía mínima (DMI). Para este tipo de edificaciones el valor del factor de reducción de resistencia por ausencia de redundancia en el sistema estructural de resistencia sísmica es igual a uno ($\phi_r = 1$).

³⁰ AIS, A. C. (MARZO de 2010). REGLAMENTO COLOMBIANO DE CONSTRUCCION SISMO RESISTENTE NSR-10. Obtenido de http://www.culturarecreacionydeporte.gov.co/sites/default/files/reglamento_construccion_sismo_resistente.pdf

7.1.15.2.2 En edificaciones con un sistema estructural con capacidad de disipación de energía moderada (DMO) y especial (DES). Para este tipo de edificaciones el valor del factor de reducción de resistencia por ausencia de redundancia en el sistema estructural de resistencia sísmica es igual a uno ($\phi_r = 1$), cuando en todos los pisos que resistan más del 35 por ciento del corte basal en la dirección bajo estudio el sistema estructural de resistencia sísmica cumpla las siguientes condiciones:

- En sistemas compuestos por pórticos con arriostramientos concéntricos ($\phi_r = 0.75$).
- En sistemas compuestos por pórticos con arriostramientos excéntricos.
- En sistemas de pórtico resistente a momentos.
- En sistemas con muros estructurales de concreto estructural ($\phi_r = 0.75$)³¹.

7.1.15.3 Uso del coeficiente de sobrerresistencia Ω_0 .

Cuando los requisitos para el material estructural y el grado de disipación de energía requieren que los elementos frágiles o las conexiones entre los elementos se diseñen para fuerzas sísmicas, **E**, amplificadas por el coeficiente de sobrerresistencia, Ω_0 , éste debe emplearse de la siguiente manera:

³¹ AIS, A. C. (MARZO de 2010). REGLAMENTO COLOMBIANO DE CONSTRUCCION SISMO RESISTENTE NSR-10. Obtenido de http://www.culturarecreacionydeporte.gov.co/sites/default/files/reglamento_construccion_sismo_resistente.pdf

Ecuación 15 *Uso del coeficiente de sobrerresistencia Ω_0 .*

$$E = \frac{\Omega_0 F_s}{R} \pm 0.5 A_a F_a D$$

Donde:

F_s = fuerzas sísmicas obtenidas del análisis,

R = coeficiente de capacidad de disipación de energía.

D = carga muerta que actúa sobre el elemento³²

7.1.16 Requisitos de la deriva.

7.1.16.1 Definición.

La deriva es el desplazamiento horizontal relativo entre dos puntos colocados en la misma línea vertical, en dos pisos o niveles consecutivos de la edificación.

7.1.16.2 Necesidad de controlar la deriva.

La deriva está asociada con los siguientes efectos durante un sismo:

- Deformación inelástica de los elementos estructurales y no estructurales.
- Estabilidad global de la estructura.

³² AIS, A. C. (MARZO de 2010). REGLAMENTO COLOMBIANO DE CONSTRUCCION SISMO RESISTENTE NSR-10. Obtenido de http://www.culturarecreacionydeporte.gov.co/sites/default/files/reglamento_construccion_sismo_resistente.pdf

- Daño a los elementos estructurales que no hacen parte del sistema de resistencia sísmica y a los elementos no estructurales.
- Alarma y pánico entre las personas que ocupen la edificación

33.

7.1.16.3 Límites de la deriva

La deriva máxima para cualquier piso es determinada en la siguiente tabla, en la cual la deriva máxima se expresa como un porcentaje de la altura de piso h_{pi} .

Tabla 2 derivas máximas como porcentaje de h_{pi} .

Estructuras de:	Deriva máxima
Concreto reforzado, metálicas, de madera, y de mampostería	1% ($\Delta_{max}^i \leq 0.010h_{pi}$)
Otros de mampostería	0.5% ($\Delta_{max}^i \leq 0.005h_{pi}$)

Fuente: autores

7.1.17 Cargas.

7.1.17.1 Combinación de cargas.

Son ecuaciones utilizadas para el método de esfuerzos de trabajo o en las verificaciones del estado límite de servicio y para el método de

³³ AIS, A. C. (MARZO de 2010). REGLAMENTO COLOMBIANO DE CONSTRUCCION SISMO RESISTENTE NSR-10. Obtenido de http://www.culturarecreacionydeporte.gov.co/sites/default/files/reglamento_construccion_sismo_resistente.pdf

resistencia de una estructura donde se calcula una carga mayorada a través de la utilización de las fuerzas a las que puede verse afectada la estructura.

Las fuerzas por las cuales se puede ver afectada una estructura son:

- **D.** Cargas muertas.
- **L.** Cargas Vivas.
- **F.** Cargas debidas al peso y presión de fluidos con densidades bien definidas y alturas máximas controlables.
- **T.** Fuerzas y efectos causados por efectos acumulados de variación de temperatura.
- **H.** Cargas debidas al empuje lateral del suelo, de agua freática o de materiales almacenados con restricción horizontal.
- **L_r.** Carga viva sobre la cubierta.
- **L_e.** Carga de empozamiento de agua.
- **L_o:** Carga viva sin reducir, en $\frac{kN}{m^2}$.
- **G:** Carga debida al granizo.
- **W:** Carga de viento³⁴.

³⁴ SISMICAS, C. A. (Marzo de 2010). Reglamento Colombiano de Construcción Sismo Resistente. Obtenido de Reglamento Colombiano de Construcción Sismo Resistente:

7.2 MARCO CONCEPTUAL

El Gobierno Nacional encomendó al Ministerio de Obras Públicas y Transporte el desarrollo de esta reglamentación de construcción sismo resistente. El Ministerio con la Sociedad Colombiana de Ingenieros, decidió encomendar a la Asociación Colombiana de Ingeniería Sísmica, la elaboración de la parte técnica del Código, en la cual utilizaría como base la Norma AIS 100-83, la Norma ICONTEC 2000 y el Código de Estructuras Metálicas de FEDESTRUCTURAS. Este es el Decreto 1400 de junio 7 de 1984, "Código Colombiano de Construcciones Sismo Resistentes".

Según lo anterior, el código Colombiano de Construcciones Sismo Resistentes trató de subsanar aquellos aspectos que, debido a los sismos presentados en el país, se había demostrado que las edificaciones presentes eran deficientes dentro de la práctica de la construcción nacional. Las deficiencias más notables se pueden resumir en:

- Daño grave y colapso concentrado especialmente en edificios de cinco pisos o menos.
- Excesiva flexibilidad ante sollicitaciones horizontales de las construcciones nacionales.
- Gran cantidad de fallas de columnas debidas a la falta de estribos de confinamiento.
- Daños graves y colapso de algunas edificaciones de mampostería reforzada.

http://www.culturarecreacionydeporte.gov.co/sites/default/files/reglamento_construccion_sismo_resistente.pdf

La Unidad de Estudio que tuvo a su cargo la redacción del Decreto 1400 de 1984, asignó una jerarquía a los problemas identificados por medio de los sismos ocurridos con anterioridad a 1984. La clasificación se realizó con base en que fueran aspectos prioritarios que afectaran vidas humanas. Lo anterior condujo a una asignación de prioridades que permitió redactar un documento realista; dejándose para futuras actualizaciones algunos aspectos cuya peligrosidad se consideró menor, o cuya efectividad se estimó que era dudosa, o para los cuales la relación beneficio costo los permitía catalogar como aspectos marginales, en comparación con la realidad del momento. Dentro de los aspectos que se discutieron, pero fueron postergados para ediciones futuras se destacan:

- Cambio en los sistemas estructurales
- Limitación a las irregularidades
- Elementos no estructurales
- Otros materiales estructurales (madera, aluminio)³⁵.

³⁵ SISMICAS, C. A. (Marzo de 2010). Reglamento Colombiano de Construcción Sismo Resistente. Obtenido de Reglamento Colombiano de Construcción Sismo Resistente: http://www.culturarecreacionydeporte.gov.co/sites/default/files/reglamento_construccion_sismo_resistente.pdf

7.3 MARCO HISTORICO

El primer evento sísmico en el país, del cual se tiene registro escrito, ocurrió en 1875 en la ciudad de Cúcuta, el cual dejó alrededor de mil víctimas fatales. Posteriormente, el día 4 de septiembre de 1964 en la ciudad de Bogotá, se registró un sismo en la localidad de Usme dejando un saldo de alrededor 6 muertos, 30 heridos y más de 200 viviendas afectadas. En 1979 ocurrió otro movimiento sísmico significativo en zonas como el Charco, Tumaco y otras poblaciones, este terremoto tuvo una magnitud de 8.1 en la Escala de Richter³⁶. En 1983 sucedió el terremoto de Popayán dejando más de 300 muertos y alrededor de 508 heridos. Es importante resaltar que en ese momento los estudios de amenaza sísmica del país surgieron a raíz del terremoto de Popayán en 1983 ³⁷. Posteriormente, en el año 1992 se produjo un sismo con una magnitud de 7.2 en la Escala de Richter en Murindó, Chocó-Antioquia dejando un centenar de personas y viviendas damnificadas ³⁸. En 1994, un terremoto causó la avalancha del río Páez en el departamento del Cauca y dejó 800 muertos y 55 mil indígenas damnificados ³⁹. Luego, en 1995 se produjo un temblor con epicentro en Tauramena, Casanare donde no se presentaron víctimas fatales, pero en menos de dos semanas se produjo un terremoto en la ciudad de Pereira dejando 30 víctimas fatales y alrededor de 300 heridos. En 1997, se produjo un terremoto en los límites entre el Valle y Chocó con una

³⁶ GARCÍA, L. E. (15 de Febrero de 2015). Desarrollo de la normativa sismo resistente colombiana en los 30 años desde su primera expedición. Obtenido de Desarrollo de la normativa sismo resistente colombiana en los 30 años desde su primera expedición.: <http://www.scielo.org.co/pdf/ring/n41/n41a13.pdf>

³⁷ AHUMADA, P. S. (2010). Inventario de sismos históricos en Colombia. Obtenido de Congreso Latinoamericano de Prevención de Riesgos y Medio Ambiente: http://paritario.utralca.cl/docs/MESA_B_PONENCIAS/B_14_INVENTARIO_SISMOS_HISTORICOS_COLOMBIA_PILAR_SOFIA_VILORIA_AHUMADA.pdf

³⁸ MARIN, J. P., VALENCIA, L. Y., & RENDON, L. M. (2009). ANALISIS MACROSISMICO DEL TERREMOTO DE MURINDÓ-ANTIOQUIA(COLOMBIA) OCTUBRE DE 1992. Boletín de Geología, 85-93.

³⁹ DESASTRES, R. S. (Enero de 1995). Red de estudios sociales en prevención de desastres en América Latina. Obtenido de <http://www.desenredando.org/public/revistas/dys/rdys04/dys4-1.0-nov-7-2001-ESPECIAL.pdf>

magnitud de 5.7 en la Escala de Richter el cual no provoco mayores daños ni la pérdida de vidas humanas.

En poco tiempo después el país fue epicentro de otro terremoto y esta vez sucedió en la ciudad de Quindío en el año 1999, este sismo tuvo una magnitud de 6.2 en la Escala de Richter dejando a su paso destrucción y llevándose muchas vidas humanas. En 2004, un poderoso sismo sacudió el pacífico colombiano, este fue el sismo de Pizarra, este sismo tuvo una magnitud de 6.7 en la Escala de Richter. Posteriormente, en el año 2008 se produjo un sismo en Quetame (Cundinamarca) con una magnitud de 5.7 en la Escala de Richter dejando en este municipio gran parte de las edificaciones en completas ruinas sin mencionar el número significativo de pérdidas humanas durante el desastre ⁴⁰. Según lo anterior, Colombia ha sido epicentro de varios sismos a lo largo de su historia unos han ocasionado más daños que otros por tal razón, la expedición de este reglamento presenta los requisitos mínimos que, en alguna medida, garantizan que se cumpla el fin primordial de salvaguardar las vidas humanas ante la ocurrencia de un sismo fuerte. No obstante, la defensa de la propiedad es un resultado indirecto de la aplicación de las normas, pues al defender las vidas humanas, se obtiene una protección de la propiedad, como un subproducto de la defensa de la vida.

⁴⁰ AIS, A. C. (MARZO de 2010). REGLAMENTO COLOMBIANO DE CONSTRUCCION SISMO RESISTENTE NSR-10. Obtenido de http://www.culturarecreacionydeporte.gov.co/sites/default/files/reglamento_construccion_sismo_resistente.pdf

7.4 MARCO LEGAL

El Reglamento Colombiano de Construcción Sismo Resistente es una norma técnica colombiana encargada de reglamentar las condiciones con las que deben contar las construcciones con el fin de que la respuesta estructural a un sismo sea favorable. La norma NSR-10 fue promulgada por el Decreto 926 del 19 de marzo de 2010, el cual fue sancionado por el entonces presidente Álvaro Uribe. Posteriormente al decreto 926 de 2010 han sido introducidas modificaciones como el decreto 2525 del 13 de julio de 2010, el decreto 092 del 17 de enero de 2011 y el decreto 340 del 13 de febrero de 2012(actual).

La norma NSR-10 fue sometida a evaluación durante 3 años, hasta que obtuvo la aprobación por parte de los ministerios de Ambiente Vivienda y Desarrollo Territorial, de Transporte y del Interior. Uno de los puntos más relevantes de esta versión es el nuevo mapa de sismicidad elaborado por la Red Sismológica Nacional adscrita al INGEOMINAS, que permite identificar de manera más acertada zonas de amenaza sísmica. Este permitirá hacer variaciones en los diseños estructurales, dependiendo de si la zona es alta, intermedia o baja. Para realizar este mapa se registraron entre 1995 y el 2009 alrededor de 22.000 eventos adicionales (a los 13 mil que crearon la versión NSR-98) que permitieron realizar un mejor estimativo⁴¹.

⁴¹ AIS, A. C. (MARZO de 2010). *REGLAMENTO COLOMBIANO DE CONSTRUCCION SISMO RESISTENTE NSR-10*. Obtenido de http://www.culturarecreacionydeporte.gov.co/sites/default/files/reglamento_construccion_sismo_resistente.pdf

7.5 ESTADO DEL ARTE

En el año 2011 Andrea Aranguren Sedano una estudiante de la Universidad Javeriana de la ciudad de Bogotá realizó su proyecto de grado enfocado al Análisis Comparativo de las Implicaciones Económicas entre la NSR-98 y NSR-10, en donde la estudiante con la colaboración de su tutor realizó una investigación detallada acerca de las implicaciones económicas que genera el cambio de la normatividad sismo resistente en nuestro país, los efectos que ocasiona en temas relacionados a los parámetros de diseño, y demás. La estudiante establece que el cambio en el costo de la estructura está determinado por la modificación en los parámetros sísmicos y la configuración de la edificación, sin embargo, la variación final de los costos asociados a la actualización de la norma sismo resistente no es significativa. La autora reconoce que es necesario que el reglamento sismo resistente este en un proceso constante de actualización ya que se deben incorporar los nuevos avances tecnológicos con el fin de mejorar los procesos constructivos y de cada día satisfacer lo mejor posible las necesidades y requerimientos de la industria de la construcción en el país.

El objetivo principal con el desarrollo de la investigación fue analizar el impacto económico del cambio de normatividad sismo resistente en edificaciones de concreto reforzado con sistemas combinados de resistencia sísmica localizados en la ciudad de Bogotá. Las edificaciones cumplen con los requisitos para ser analizadas con el método de la fuerza horizontal equivalente⁴².

⁴² SEDANO, A. A. (Noviembre de 2011). *Análisis Comparativo de las Edificaciones Económicas entre la NSR-98 y NSR-10 (caso de estudio en la ciudad de Bogotá)*. Obtenido de <https://repository.javeriana.edu.co/bitstream/handle/10554/1785/ArangurenSedanoAndrea%202011.pdf?sequence=1>

8. METODOLOGIA

El trabajo se desarrolló de la siguiente manera:

1. **Primera Etapa.** Se realiza un análisis comparativo teórico en donde se especifica términos y conceptos fundamentales dispuestos en la Norma Sismo-resistente colombiana para la ejecución de un proyecto estructural.
2. **Segunda Etapa.** A través de un cuadro comparativo se analiza cada uno de los cambios sufridos en la versión de la NSR-10 con relación a la NSR-98.
3. **Tercera Etapa.** Mediante la comparación técnica entre dos edificaciones, una desarrollada bajo la NSR-98 y la otra por la NSR-10, ubicadas en el departamento de Cundinamarca, se evalúa las derivaciones provocadas por los cambios realizados en la norma a lo largo de los años.
4. **Cuarta Etapa.** Se analiza el diseño constructivo de cada edificación a través de las memorias de cálculo y planos estructurales correspondientes, con el propósito de identificar cuáles han sido los cambios más relevantes entre la NSR-98 y la versión actual.
5. **Quinta Etapa.** Finalmente, obtenidos los resultados, se presenta al lector las respectivas conclusiones de esta investigación.

9. COMPARACIÓN TECNICA DE LA NSR-98 CON RELACIÓN A LA NSR-10

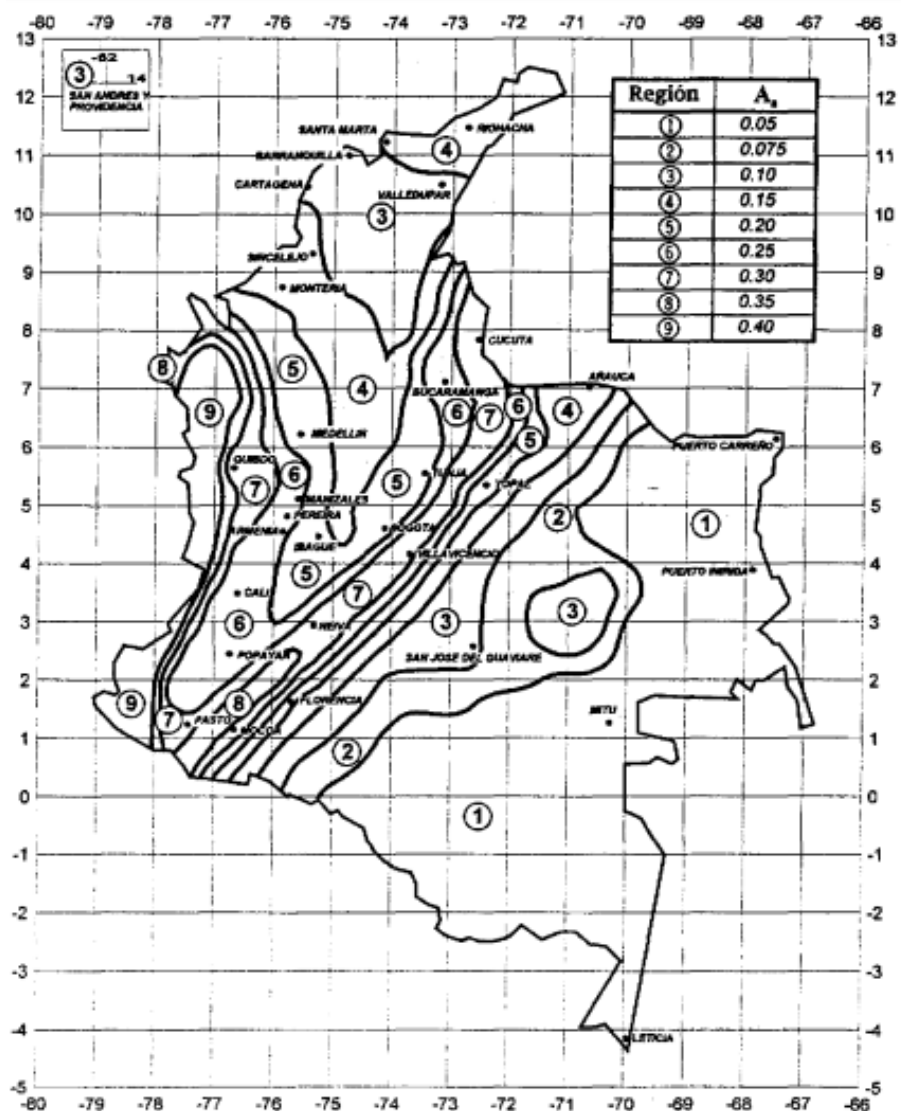
9.1 Microzonificación sísmica.

Tabla 3 valores de A_a (aceleración pico efectiva horizontal de diseño para períodos de vibración cortos)

Valores de A_a de la NSR-98		Valores de A_a de la NSR-10	
Regiones	A_a	Regiones	A_a
1	0.05	1	0.05
2	0.075	2	0.10
3	0.10	3	0.15
4	0.15	4	0.20
5	0.20	5	0.25
6	0.25	6	0.30
7	0.30	7	0.35
8	0.35	8	0.40
9	0.40	9	0.45
10	0.45	10	0.50

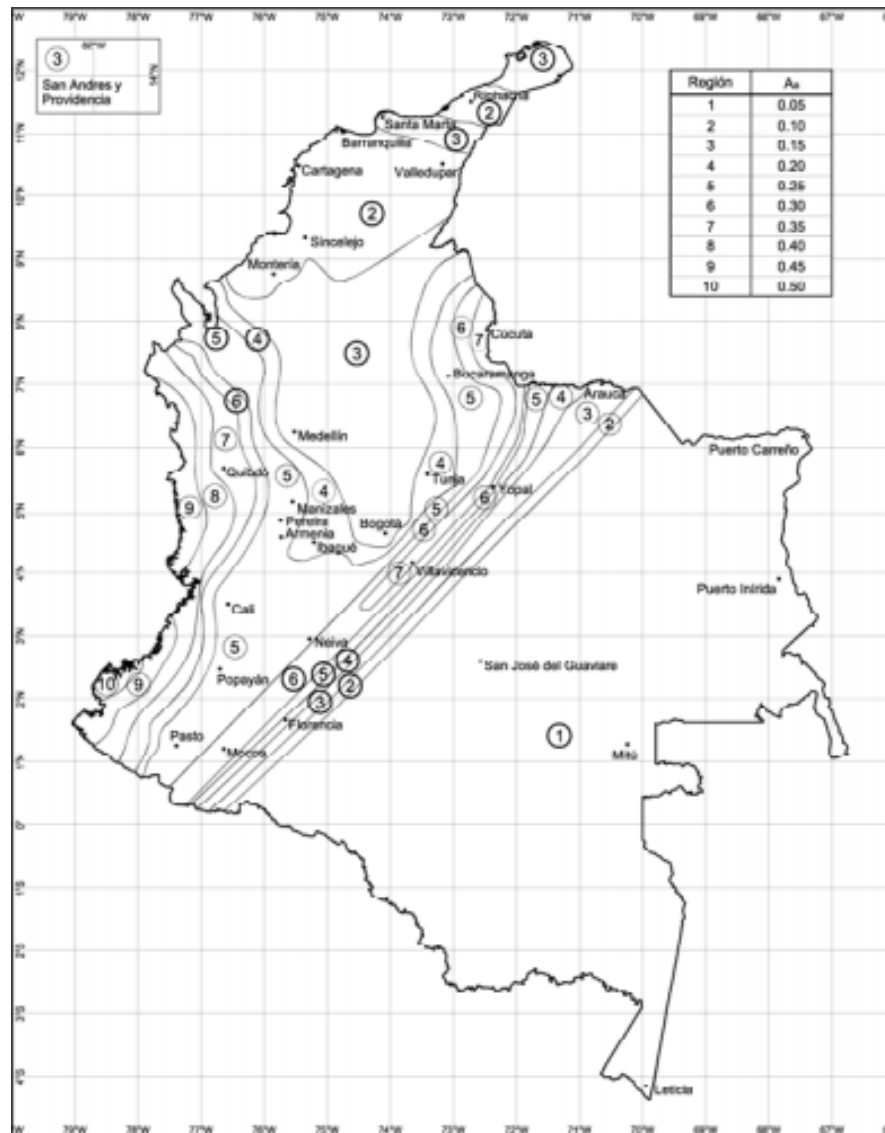
Fuente: autores

Ilustración 8 Mapa de A_a de la NSR-98 (aceleración pico efectiva horizontal de diseño para períodos de vibración cortos expresada como fracción de la aceleración de la gravedad, $g = 9.8 \text{ m/s}^2$)



Fuente: NSR – 98 -Reglamento Sismo-Resistente, Bogotá D.C, 1998, p. 83

Ilustración 9 Mapa de A_a de la NSR-10 (aceleración pico efectiva horizontal de diseño para períodos de vibración cortos expresada como fracción de la aceleración de la gravedad, $g = 9.8 \text{ m/s}^2$)



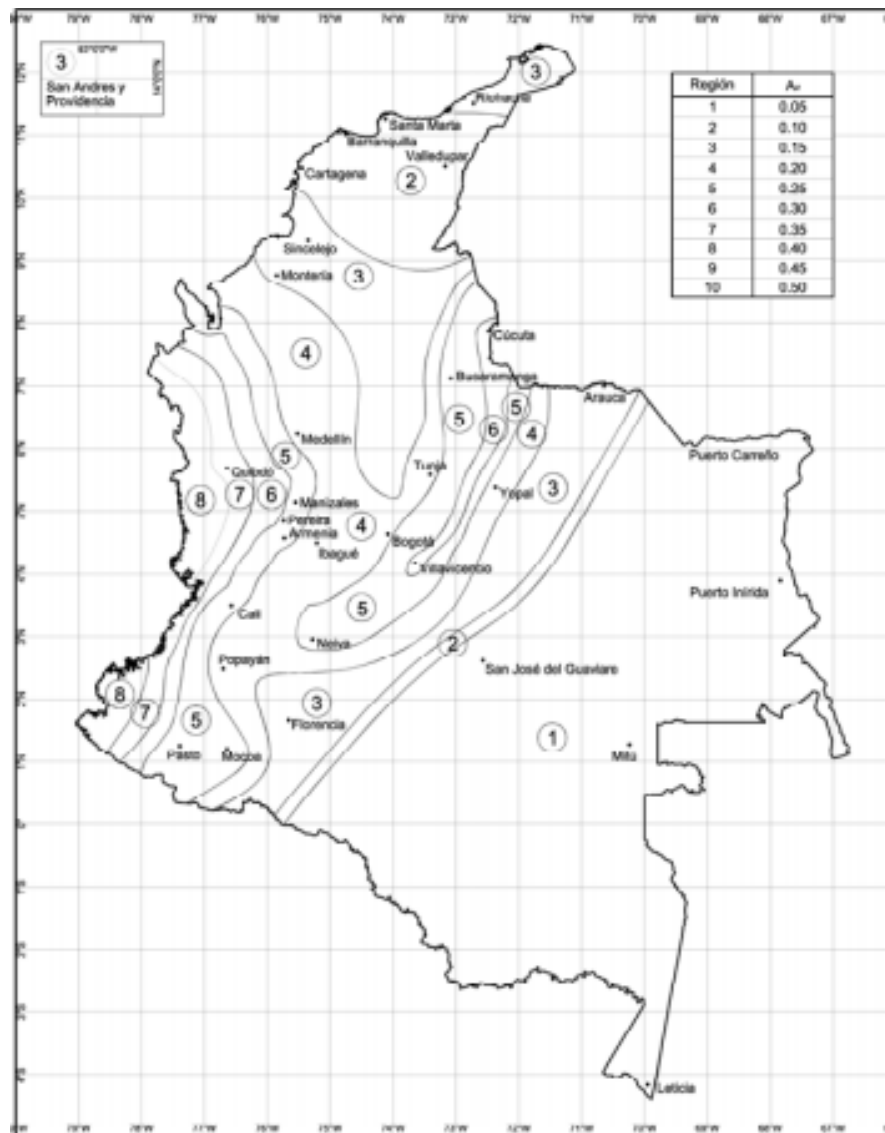
Fuente: NSR – 10 -Reglamento Sismo-Resistente, Bogotá D.C, 2010, p. 18

Tabla 4 valores de A_V (aceleración pico efectiva horizontal de diseño para períodos de vibración intermedios)

Valores de A_V de la NSR-98		Valores de A_V de la NSR-10	
Regiones	A_a	Regiones	A_a
Para esta versión no se contempla el valor de A_V		1	0.05
		2	0.10
		3	0.15
		4	0.20
		5	0.25
		6	0.30
		7	0.35
		8	0.40
		9	0.45
		10	0.50

Fuente: Autores

Ilustración 10 Mapa de A_v de la NSR-10 (aceleración pico efectiva horizontal de diseño para períodos de vibración intermedios expresada como fracción de la aceleración de la gravedad, $g = 9.8 \text{ m/s}^2$)



Fuente: NSR – 10 -Reglamento Sismo-Resistente, Bogotá D.C, 2010, p. 19

9.2 Fuerza horizontal equivalente.

9.2.1 Tipos de perfiles de suelo.

Tipos de perfiles de suelo de acuerdo con la NSR-98.

Tabla 5 Tipos de perfiles de suelo de acuerdo con la NSR-98.

Perfil de suelo	Descripción	Coeficiente de sitio
S_1	Está compuesto, hasta la superficie, por roca de cualquier característica, que tiene una velocidad de la onda de cortante mayor o igual a 750 metros por segundo, o perfiles que entre la roca y la superficie están conformados por suelos duros, o densos, con un espesor menor de 60 metros, compuestos por depósitos estables de arenas o arcillas duras, con una velocidad de la onda de cortante mayor o igual a 400 m/seg.	1.0
S_2	Perfiles en donde entre la roca y la superficie existen más de 60 m de depósitos estables de suelos duros, o densos, compuestos por depósitos estables de arcillas duras o suelos no cohesivos, con una velocidad de la onda de cortante mayor o igual a 400 m/s, o perfiles en donde entre la roca y la superficie existen menos de 60 m de depósitos estables de suelos de consistencia media compuestos por materiales con una velocidad de la onda de cortante cuyo valor esta entre 270 y 400 m/s.	1.2

S_3	Es un perfil en donde entre la roca y la superficie hay más de 20 m de suelos que contiene depósitos estables de arcillas cuya dureza varía entre mediana y blanda, con una velocidad de la onda de cortante entre 150 y 270 m/s, y que, dentro de ellos, en conjunto, hay menos de 12 m de arcillas blandas.	1.5
S_4	Es un perfil en donde, dentro de los depósitos existentes entre la roca y la superficie hay más de 12 m de arcillas blandas, caracterizadas por una velocidad de la onda de cortante menor de 150 m/s.	2.0

Fuente: Autores

Además, en esta sección de la norma específica que estos perfiles de suelo hacen referencia a depósitos estables de suelo. Cuando exista la posibilidad de que el depósito no sea estable, especialmente ante la ocurrencia de un sismo, como puede ser en sitios en ladera o en sitios con suelos potencialmente licuables, no deben utilizarse las definiciones dadas y hay necesidad de realizar una investigación geotécnica que identifique la estabilidad del depósito, además de las medidas correctivas, si son posibles, que se deben tomar para poder adelantar una construcción en el lugar. El estudio geotécnico debe indicar claramente las medidas correctivas y el coeficiente de sitio que se debe utilizar en el diseño, dado que se lleve a cabo las medidas correctivas⁴³.

⁴³ AIS, A. C. (09 de Enero de 1998). *Normas Colombianas de Diseño y Construcción Sismo Resistente NSR-98*. Obtenido de <https://es.slideshare.net/94504225/nsr-98-tomo1>

Tipos de perfiles de suelo de acuerdo con la NSR-10.

Tabla 6 Clasificación de los perfiles de suelo de acuerdo con la NSR-10

Tipo de perfil	Descripción	Definición
A	Perfil de roca competente	$V_s \geq 1500 \frac{m}{s}$
B	Perfil de roca de rigidez media	$1500 \frac{m}{s} > V_s \geq 760 \frac{m}{s}$
C	Perfiles de suelos muy densos o roca blanda, que cumplan con el criterio de velocidad de la onda cortante, o	$760 \frac{m}{s} > V_s \geq 360 \frac{m}{s}$
	Perfiles de suelos muy densos o roca blanda, que cumple con cualquiera de los dos criterios	$N \geq 50, o$ $S_u \geq 100 \text{ kPa} (= 1 \text{ kgf/cm}^2)$
D	Perfiles de suelos rígidos que cumplan con el criterio de velocidad de la onda cortante, o	$360 \frac{m}{s} > V_s \geq 180 \frac{m}{s}$
	Perfiles de suelos rígidos que cumplan cualquiera de las dos condiciones	$50 > N \geq 15, o$ $100 \text{ kPa} (= 1 \text{ kgf/cm}^2) > S_u \geq 50 \text{ kPa} (= 0.5 \text{ kgf/cm}^2)$
E	Perfil que cumpla el criterio de velocidad de la onda de cortante, o	$180 \frac{m}{s} > V_s$
	Perfil que contiene un espesor total H mayor de 3 m de arcillas blandas	$w \geq 40\%$

		$50 \text{ kPa}(= 0.5 \text{ kgf} / \text{cm}^2)$ $> S_u$ $IP > 20$
F	<p>Los perfiles de suelo tipo F requieren una evaluación realizada explícitamente en el sitio por un ingeniero geotecnista. Se contemplan las siguientes subclases:</p> <p>F_1- suelos susceptibles a la falla o colapso causado por la excitación sísmica, tales como: suelos licuables, arcillas sensitivas, suelos dispersivos o débilmente cementados, etc.</p> <p>F_2- turba y arcillas orgánicas y muy orgánicas ($H > 3 \text{ m}$ para turba o arcillas orgánicas y muy orgánicas)</p> <p>F_3- arcillas de muy alta plasticidad ($H > 7.5 \text{ m}$ con índice de plasticidad $IP > 75$)</p> <p>F_4- perfiles de gran espesor de arcillas de rigidez mediana a blanda ($H > 36 \text{ m}$).</p>	

Fuente: Autores

9.2.2 Efectos locales.

Valores de F_a para la NSR-10

Tabla 7 Valores del coeficiente F_a para la zona de periodos cortos del espectro.

Tipo de perfil	Intensidad de los movimientos sísmicos				
	$A_a \leq 0.1$	$A_a = 0.2$	$A_a = 0.3$	$A_a = 0.4$	$A_a \geq 0.5$
A	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8
B	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
C	1.2	1.2	1.1	1.0	1.0
D	1.6	1.4	1.2	1.1	1.0
E	2.5	1.7	1.2	0.9	0.9
F	Véase nota				

Fuente: autores

Nota: “Para el perfil F debe realizarse una investigación geotécnica particular para el lugar específico y debe llevarse a cabo un análisis de amplificación de onda de acuerdo con A.2.10”⁴⁴.

Valores de F_a para la NSR-98.

La NSR-98 con relación a la NSR-10 no cuenta con los valores del coeficiente de amplificación F_a .

Valores de F_V para la NSR-10

Tabla 8 Valores del coeficiente F_V para la zona de periodos intermedios del espectro.

Tipo de perfil	Intensidad de los movimientos sísmicos				
	$A_V \leq 0.1$	$A_V = 0.2$	$A_V = 0.3$	$A_V = 0.4$	$A_V \geq 0.5$
A	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8
B	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
C	1.7	1.6	1.5	1.4	1.3
D	2.4	2.0	1.8	1.6	1.5
E	3.5	3.2	2.8	2.4	2.4
F	Véase nota	Véase nota	Véase nota	Véase nota	Véase nota

Fuente: autores

⁴⁴ AIS, A. C. (09 de Enero de 1998). *Normas Colombianas de Diseño y Construcción Sismo Resistente NSR-98*. Obtenido de <https://es.slideshare.net/94504225/nsr-98-tomo1>

Nota: “Para el perfil F debe realizarse una investigación geotécnica particular para el lugar específico y debe llevarse a cabo un análisis de amplificación de onda de acuerdo con A.2.10”⁴⁵.

Valores de F_V para la NSR-98

La NSR-98 con relación a la NSR-10 no cuenta con los valores del coeficiente de amplificación F_V .

9.2.3 Coeficiente de sitio.

Valores de S para la NSR-10.

Los valores del coeficiente de sitio para cada tipo de perfil del suelo ya no se encuentran en la norma vigente debido a que las ecuaciones de los espectros de diseño fueron modificadas.

Valores de S para la NSR-98.

Tabla 9 valores del coeficiente de sitio, S

Tipo de perfil de suelo	Coeficiente de sitio, S
S_1	1.0
S_2	1.2
S_3	1.5
S_4	2.0

Fuente: autores

⁴⁵ AIS, A. C. (MARZO de 2010). *REGLAMENTO COLOMBIANO DE CONSTRUCCION SISMO RESISTENTE NSR-10*. Obtenido de http://www.culturarecreacionydeporte.gov.co/sites/default/files/reglamento_construccion_sismo_resistente.pdf

9.2.4 Espectros de diseño.

En la versión anterior de la norma colombiana sismo resistente (NSR – 98) se presentaba solo un espectro de diseño el cual es el espectro de aceleraciones, por consiguiente, en la siguiente tabla se realiza la respectivo de solo este ítem.

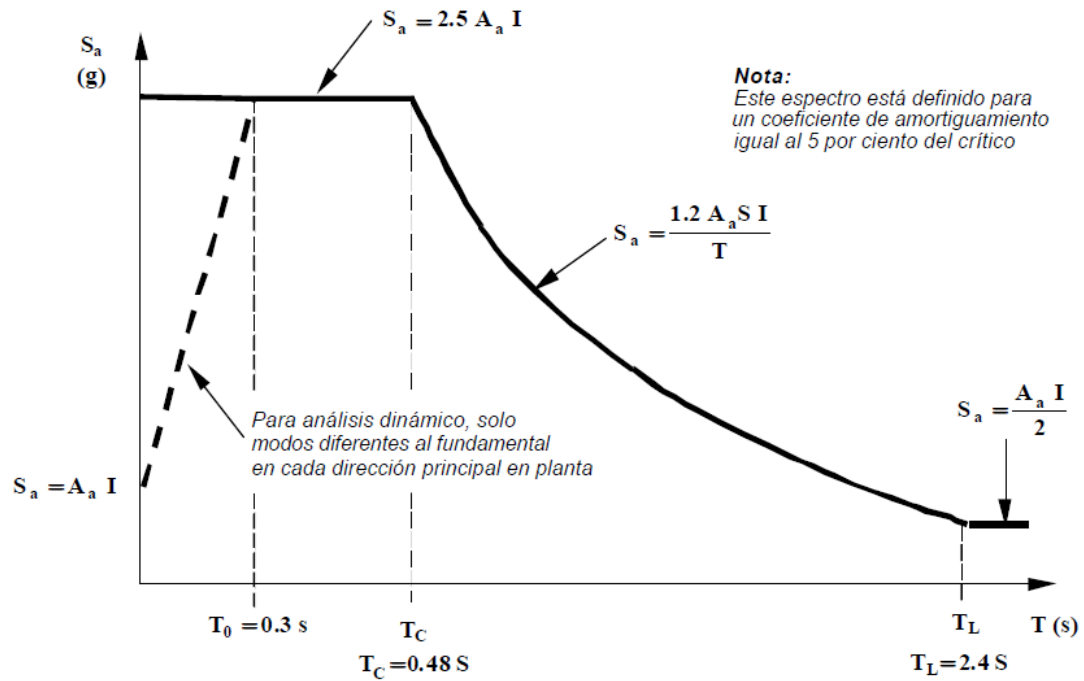
Tabla 10 Comparación de los valores de espectro de aceleración entre la NSR – 98 y la NSR – 10

NSR – 98	NSR – 10
La forma del espectro elástico de aceleraciones S_a $S_a = \frac{1.2A_a \mathbf{S}I}{T}$	La forma del espectro elástico de aceleraciones S_a $S_a = \frac{1.2A_v \mathbf{F}_v I}{T}$
Para períodos de vibración menores de T_c $T_c = 0.48S$ $S_a = 2.5A_a I$	Para períodos de vibración menores de T_c $T_c = 0.48 \frac{\mathbf{A}_v \mathbf{F}_v}{\mathbf{A}_a \mathbf{F}_a}$ $S_a = 2.5A_a \mathbf{F}_a I$
Para períodos de vibración menores de T_L $T_L = 2.4S$ $S_a = \frac{A_a I}{2}$	Para períodos de vibración menores de T_L $T_L = 2.4 \mathbf{F}_v$ $S_a = \frac{1.2 \mathbf{A}_v \mathbf{F}_v \mathbf{T}_L I}{\mathbf{T}^2}$

Fuente: autores

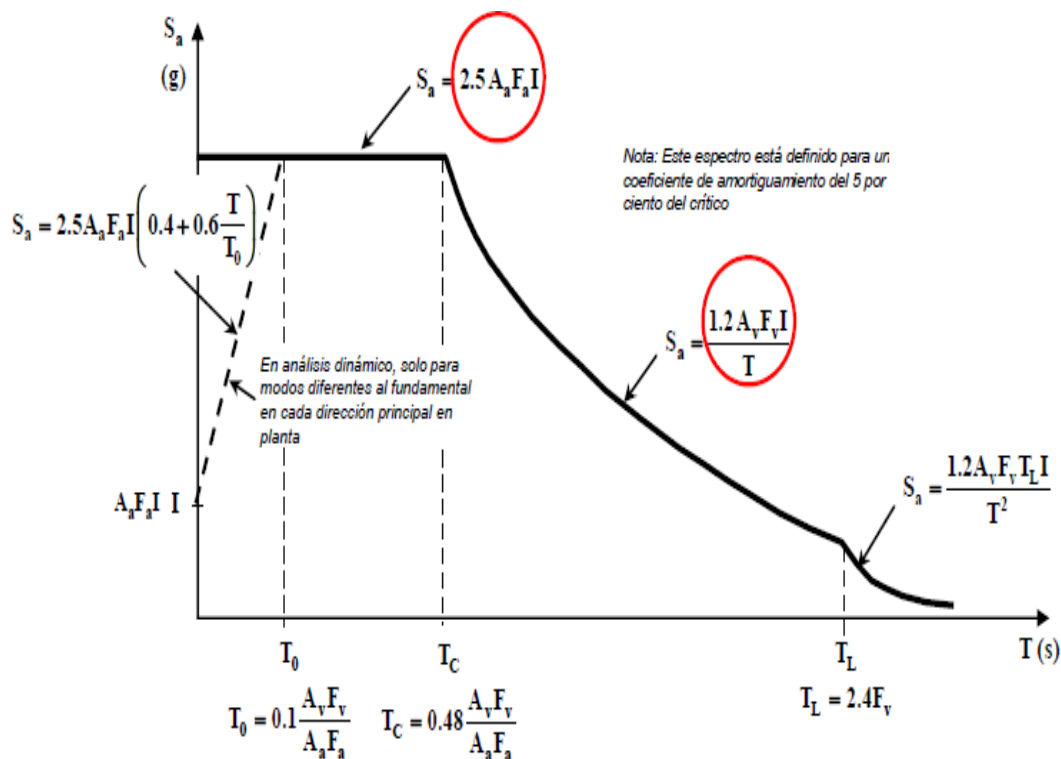
A continuación, la comparación de la gráfica del espectro de diseño de las dos normas.

Ilustración 11 Espectro Elástico de Aceleraciones de Diseño como fracción de g de la NSR – 98.



Fuente: NSR – 98 -Reglamento Sismo-Resistente, Bogotá D.C, 1998, Título A, p. 16

Ilustración 12 Espectro Elástico de Aceleraciones de Diseño como fracción de g de la NSR – 10.



Fuente: NSR – 10 -Reglamento Sismo-Resistente, Bogotá D.C, 2010, Título A, p. 27

9.2.5 Periodo de vibración aproximado.

Valores de T_a para la NSR-10

El valor del periodo de vibración fundamental aproximado se calcula mediante la siguiente ecuación:

Ecuación 14 Periodo de vibración aproximado para la NSR-10

$$T_a = C_t h_t^\alpha$$

Donde los valores de C_T y α tienen los valores dados en la siguiente tabla:

Tabla 11 valores de C_T y α dispuestos en la NSR-10

Sistema estructural de resistencia sísmica	C_T	α
Pórticos resistentes a momentos de concreto reforzado que resisten la totalidad de las fuerzas sísmicas y que no están limitados o adheridos a componentes más rígidos, estructurales o no estructurales, que limiten los desplazamientos horizontales al verse sometidos a las fuerzas sísmicas.	0.047	0.9
Pórticos resistentes a momentos de acero estructural que resisten la totalidad de las fuerzas sísmicas y que no están limitados o adheridos a componentes más rígidos, estructurales o no estructurales, que limiten los desplazamientos horizontales al verse sometidos a las fuerzas sísmicas.	0.072	0.8
Pórticos arriostramientos de acero estructural con diagonales excéntricas restringidas a pandeo.	0.073	0.75
Todos los otros sistemas estructurales basados en muros de rigidez similar o mayor a la de muros de concertó o mampostería.	0.049	0.75
Alternativamente, para estructuras que tengan muros estructurales de concreto reforzado o mampostería estructural, pueden emplearse los siguientes parámetros C_T y α , donde C_W se calcula utilizando la ecuación A.4.2-4 ubicada en la sección A.4.2 de la NSR-10	$\frac{0.0062}{\sqrt{C_W}}$	1.00

Fuente: autores

Además de lo anterior, es necesario tener en cuenta el valor de **K**, es un exponente relacionado con el periodo fundamental T_a y está dado por la siguiente expresión:

- Para T_a menor o igual a **0.5** segundos, **K = 1.0**
- Para T_a entre **0.5** y **2.5** segundos. **K = 0.75 + 0.5 T_a**
- Para T_a mayor que **2.5** segundos, **K = 2.0**

Valores de T_a para la NSR-98.

El valor del periodo de vibración fundamental aproximado se calcula mediante la siguiente ecuación:

Ecuación 15 Periodo de vibración aproximado para la NSR-98

$$T_a = C_t h_n^{3/4}$$

Donde los valores de C_t se tienen dados en la siguiente tabla:

Tabla 12 valores de C_t dispuestos en la NSR-98.

Sistema estructural de resistencia sísmica	C_t
Pórticos resistentes a momentos de concreto reforzado y para pórticos de acero estructural con diagonales excéntricas.	0.08
Pórticos resistentes a momentos de acero estructural.	0.09
Otros tipos de sistema de resistencia sísmica.	0.05

Fuente: autores

El valor de **K** no ha sufrido ninguna modificación.

9.2.6 Coeficiente de importancia.

A continuación, se realiza la comparación entre los valores del coeficiente de importancia **I** de la NSR-10 con relación a la NSR-98.

Tabla 13 Valores Coeficiente de importancia, **I**

Valores de I para la NSR-98		Valores de I para la NSR-10	
Grupos de uso	Coeficiente de importancia, I	Grupos de uso	Coeficiente de importancia, I
4	1.30	4	1.50
3	1.20	3	1.25
2	1.10	2	1.10
1	1.00	1	1.00

Fuente: autores

9.3 Configuración estructural de la edificación.

9.3.1 Coeficiente de capacidad de disipación de energía - **R**

NSR-98

Ecuación 16 Coeficiente de capacidad de disipación de energía **R**

$$R = F_a * F_p * R_o$$

Donde:

F_a = Coeficiente de reducción por irregularidad en altura.

F_p = Coeficiente de reducción por irregularidad en planta.

R_o = Coeficiente básico. Valor de **Tabla A.3.1**

NSR-10

Ecuación 17 Coeficiente de capacidad de disipación de energía R

$$R = \phi_a * \phi_p * \phi_r * R_o$$

Donde:

ϕ_a = Coeficiente de reducción por irregularidad en altura.

ϕ_p = Coeficiente de reducción por irregularidad en planta.

ϕ_r = Coeficiente de reducción por ausencia de redundancia.

R_o = Coeficiente básico. Valor de **Tabla A.3.1**

En este caso, se agregó un nuevo coeficiente de reducción ϕ_r el cual corresponde a los siguientes valores:

Tabla 14 Valores de *Coeficiente de reducción por ausencia de redundancia, ϕ_r*

Sistema estructural de muros de carga	ϕ_r
En edificaciones con un sistema estructural con capacidad de disipación de energía mínima (DMI)	1.0
En edificaciones con un sistema estructural con capacidad de disipación de energía moderada (DMO) y especial (DES)	0.75 ò 1.0 según las condiciones enunciadas en el numeral A.3.3.8.2

Fuente: Autores

Los valores de R_o están descritos en la tabla **A.3.1** de la norma **NSR-98** y **NSR-10**. A continuación, se da a conocer los valores R_o que han sido modificados de la NSR-98 con relación a la NSR-10:

Tabla 15 Valores R_o de la NSR-98 con relación a la NSR-10

Valores de R_o para la NSR-98		Valores de R_o para la NSR-10	
Sistema estructural de muros de carga	R_o	Sistema estructural de muros de carga	R_o
Muro de Concreto (DES)	7	Muro de Concreto (DES)	5
Muro de Concreto (DMO)	5	Muro de Concreto (DMO)	4
Muros de mampostería (DES)	4.5	Muros de mampostería (DES)	3.5
Muros de mampostería (DMO)	3.5	Muros de mampostería (DMO)	2.5
Muros de mampostería (DMI)	2.5	Muros de mampostería (DMI)	2.0
Muros de mampostería confinada	1.5	Muros de mampostería confinada	2.0

Fuente: Autores

Además, en la NSR-10 en la **Tabla A.3.6** (irregularidades en planta) se añadió un nuevo valor de ϕ_p para la categoría de la irregularidad torsional extrema ($\phi_p = 0.8$) y en la NSR-10 en la **Tabla A.3.7** (irregularidades en altura) se añadió un nuevo valor de ϕ_a para la categoría de la irregularidad extrema en rigidez ($\phi_a = 0.8$). Dado lo anterior, es de suma importancia resaltar que la irregularidad extrema en planta y altura es un nuevo tipo de categoría, por lo cual no se encuentra descrita en la NSR-98.

Adicionalmente, en la sección A.3.3 para la NSR-10 se agregó un coeficiente de sobre-resistencia (Ω_o), el cual es usado cuando el material estructural y el grado de disipación de energía requieren que los elementos frágiles o las conexiones entre elementos se diseñen para fuerzas sísmicas. Los valores de Ω_o están descritos en la **Tabla A.3.1**.

9.4 Requisitos de deriva.

En este aspecto la norma sismo resistente NSR – 10 no ha tenido algún cambio con relación a la anterior norma sismo resistente NSR – 98.

9.5 Combinaciones de carga.

Las ecuaciones presentes en la NSR-98 han sido modificadas a lo largo de los años a medida que fueron expedidas varias actualizaciones del reglamento sismo resistente colombiano, con el propósito de realizar con mayor exactitud los cálculos.

Por lo tanto, las modificaciones realizadas afectan cada aspecto inicial de cualquier proyecto debido a que cambiaran materiales, geometría, dimensionamiento, entre otras.

A continuación, se presentan dichas ecuaciones de la NSR – 10 tanto como las de la NSR – 10.

Tabla 16 Modificaciones de las combinaciones de cargas entre la NSR-98 y la NSR-10

Combinaciones de carga básicas para la NSR-98	Combinaciones de carga básicas para la NSR-10
1. $1.4D + 1.7L$	1. $1.4 (D + F)$
2. $1.05D + 1.28L + 1.28W$	2. $1.2 (D + F + T) + 1.6 (L + H) + 0.5 (L_r \text{ ó } G \text{ ó } L_e)$
3. $0.9D + 1.3W$	3. $1.2 D + 1.6 (L_r \text{ ó } G \text{ ó } L_e) + (L_o \text{ ó } 0.8W)$
4. $1.05D + 1.28L + 1.0 L + 1.0E$	4. $1.2 D + 1.6 W + 1.0 L + 0.5 (L_r \text{ ó } G \text{ ó } L_e)$
5. $0.9D + 1.0 E$	5. $1.2 D + 1.0 E + 1.0 L$
6. $1.4D + 1.7L + 1.7 H$	6. $0.9 D + 1.6 W + 1.6 H$
7. $1.05D + 1.28 L + 1.05 T$	7. $0.9 D + 1.0 E + 1.6 H$
8. $1.4D + 1.4T$	

Fuente: Autores

9.6 Materiales.

En la siguiente tabla se presentaras los aspectos que han cambiado de la NSR – 10 con respecto a la NSR – 98, reseñando que capítulo de la norma actual se encuentran.

Tabla 17 Cambios presentados en la NSR – 10 con respecto a la NSR – 98 en materiales.

Capítulo	Cambios realizados.
C.3.1.Ensayos de materiales	<ul style="list-style-type: none"> Indican las responsabilidades del constructor y el supervisor técnico respecto a la calidad de los materiales utilizados en construcción en concreto reforzado.
C.3.2. Materiales cementantes	<ul style="list-style-type: none"> Se definen los cementos de acuerdo con los cementos que se producen en Colombia.
C.3.5.Acero de refuerzo	<p>Las condiciones son las siguientes:</p> <ul style="list-style-type: none"> Las barras corrugadas de acero deben cumplir la norma técnica colombiana NTC 2289 en todo el territorio nacional. No se permite el uso de acero corrugado de refuerzo fabricado bajo la norma NTC 245, ni ningún otro tipo de acero que haya sido trabajado en frío o trefilado. El refuerzo liso solo se permite en estribos, refuerzo de retracción y temperatura o refuerzo en espiral y no puede utilizarse como refuerzo longitudinal a flexión, excepto cuando conforma mallas electrosoldadas. Se permiten barras de refuerzo galvanizadas que cumplan con NTC 4013.

	<ul style="list-style-type: none"> • Los alambres y el refuerzo electrosoldado de alambre recubiertos con epóxico deben cumplir con ASTM A884M. • Se permite utilizar pernos con cabeza y sus ensamblajes
C.5.Calidad del concreto, mezclado y colocación	<ul style="list-style-type: none"> • Permite ahora el uso de probetas de formato estándar (300 mm de alto y 150 mm de diámetro) y de formato más pequeño (200 mm de alto y 100 mm de diámetro) lo cual facilita el control de calidad de los concretos. • Ahora se permite Concreto reforzado con fibra de acero este tipo de refuerzo para cortante.
C.8.4.Redistribución de momentos en elementos continuos sometidos a flexión	<ul style="list-style-type: none"> • Permite aumentar o disminuir tanto los momentos positivos como los momentos negativos.
C.8.6.Concreto liviano	<ul style="list-style-type: none"> • Ahora se permite el uso de agregados livianos.
C.10.8.Dimensiones de diseño para elementos a compresión (columnas)	<ul style="list-style-type: none"> • Se retiran las secciones mínimas para columnas. • Para las estructuras permitidas en zonas de amenaza sísmica intermedia y alta se mantienen unas secciones mínimas. • Este cambio permite menores costos en las estructuras de concreto reforzado localizadas en zonas de amenaza sísmica baja.

C.10.9.Límites del refuerzo de elementos a compresión (columnas)	<ul style="list-style-type: none"> Se reduce la cuantía máxima permisible en columnas al 4% del área de la sección.
C.18.3.Suposiciones de diseño	<ul style="list-style-type: none"> Se introduce el concepto de Clase U, Clase T o Clase C en función de esfuerzo calculado en la fibra extrema en tracción en la zona pre comprimida en tracción.
D.3.4.Mortero de pega	<ul style="list-style-type: none"> Se introduce un nuevo tipo de mortero H para aplicaciones de mayor altura donde se demande mayor resistencia del mortero de pega.

Fuente: Autores

9.7 Capítulos nuevos de la NSR – 10.

Así mismo como la NSR – 10 presenta cambios en distintos capítulos con respecto a la norma sismo resistente de 1998; se han introducido nuevos capítulos para abarcar nuevos temas y/o ampliar la reglamentación de distintos ámbitos del desarrollo de una construcción.

Tabla 18 Capítulos nuevos de la NSR – 10

Capítulo	Contenido
D.12.Mampostería reforzada externamente.	Cubre muros de mampostería reforzada externamente en donde el refuerzo consiste en mallas electrosoldadas que se colocan dentro del mortero de recubrimiento o revoque (pañete) en ambas caras laterales de los muros fijándolas a ellos mediante conectores y/o

	clavos de acero con las especificaciones y procedimientos
G.12.Estructuras de guadua	Alcance, términos y definiciones , materiales, obtención y comercialización, materiales complementarios, bases para el diseño estructural, método de diseño estructural, diseño de elemento sometidos a flexión, diseño de elementos solicitados por fuerza axial, diseño de elementos solicitados por flexión y carga axial, uniones, preparación, fabricación, construcción, montaje y mantenimiento.
H.5.Excavaciones y estabilidad de taludes	Excavaciones, estabilidad de taludes en laderas naturales o intervenidas
H.6.Estructuras de contención	Generalidades, estados límite, consideraciones de diseño, presión de tierras, empujes debidos al agua, empujes por cargas externas, capacidad ante falla, empujes sísmicos, factores de seguridad indirectos.
H.7.Evaluación geotécnica de efectos sísmicos	Aspectos básicos, análisis de respuesta dinámica, análisis de estabilidad, la licuación y los fenómenos relacionados.
H.8.Sistema constructivo de cimentaciones, excavaciones y muros de contención	Sistema geotécnico constructivo, excavaciones, estructuras de contención, procedimientos constructivos para cimentaciones.
H.10.Rehabilitación sísmica de edificios: amenazas de origen sismo geotécnico y	Alcance, caracterización del sitio, mitigación de las amenazas sísmicas del sitio, reforzamiento y rigidez de la cimentación, rehabilitación del suelo y cimientos.

reforzamiento de edificaciones	
I.4.Recomendaciones para el ejercicio de la supervisión técnica	El material fue traído del Apéndice I-A del Reglamento NSR-98 donde no tenía carácter obligatorio y era una simple recomendación sin obligatoriedad jurídica en su aplicación. La experiencia de la aplicación del Reglamento NSR-98 ha indicado la conveniencia de darle carácter obligatorio dentro del Reglamento NSR-10.
J.3.Requisitos de resistencia contra incendios en las edificaciones	Alcance, definiciones, clasificación de edificaciones en función del riesgo de pérdida de vidas humanas o amenaza de combustión, determinación de la resistencia requerida contra fuego, evaluación de la provisión de resistencia contra fuego en elementos de edificaciones.
J.4.Detección y extinción de incendios	Alcance, sistemas y equipos para detección y alarma de incendios, sistemas y equipos para extinción de incendios.

Fuente: Autores

10. ACTUALIZACIÓN DEL DECRETO 092 DE 2011

A continuación, se describen los aspectos relevantes del decreto 340 de 16 de marzo de 2012 con respecto al decreto 092 de 2011.

Tabla 19 Modificaciones al Reglamento NSR-10 realizadas a través del decreto 340 de 16 de marzo de 2012

Actualización Decreto 092 de 17 de enero de 2011	Modificaciones Decreto 340 de 16 de marzo de 2012
<p>A.10.1.3.1 — Reparaciones y cambios menores,</p> <p>A.10.1.3.2 — Cambio de uso,</p> <p>A.10.1.3.3 — Vulnerabilidad sísmica,</p> <p>A.10.1.3.4 — Modificaciones,</p> <p>A.10.1.3.5 — Reforzamiento estructural, y</p> <p>A.10.1.3.6 — Reparación de edificaciones dañadas por sismos.</p>	<p>Se agrega una nueva sección en la cual se describe lo siguiente:</p> <p>A.10.1.3.7—Cumplimiento de los títulos J y K del Reglamento— En la intervención estructural de edificaciones construidas antes de la vigencia del presente reglamento el cumplimiento de los requisitos contenidos en los títulos J y K se deja a voluntad del propietario de la edificación⁴⁶.</p>
<p>Las secciones A.10.10.2.2 y A.10.10.3 se encuentran repetidas.</p> <p>A.10.10.2.2 — Información sobre la estructura y su estado</p>	<p>Corrigiendo el error queda de la siguiente manera:</p> <p>A.10.10.2.4 — Cálculos memorias y plano — Los cálculos, memorias y</p>

⁴⁶ (OFICIAL, 2012)

<p>A.10.10.2.3 — Criterios para diseñar la reparación</p> <p>A.10.10.2.2 — Cálculos memorias y plano</p> <p>A.10.10.2.3 — Supervisión técnicas de la reparación</p>	<p>planos de la reparación deben ajustarse a lo requerido en A.10.1.5.</p> <p>A.10.10.2.5 — Supervisión técnicas de la reparación —La reparación debe someterse a una supervisión técnica cuando la Ley 400 de 1997 y sus reglamentos la requieran.</p>																																																						
<p>B.4.5.1 — Reducción de la carga viva por área aferente</p> $L = L_o \left(0.25 + \frac{4.6}{\sqrt{A_i}} \right)$	<p>Se modifica la ecuación B.4.5-1 quedando de la siguiente forma:</p> $L = L_o \left(0.25 + \frac{4.4}{\sqrt{A_i}} \right)$																																																						
<p>Zonas de amenaza eólica</p> <p>Figura B.6.4-1</p> <table><tr><th>Región</th><th>Velocidad del Viento</th></tr><tr><td>1</td><td>17 m/s (60 km/h)</td></tr><tr><td>2</td><td>22 m/s (80 km/h)</td></tr><tr><td>3</td><td>28 m/s (100 km/h)</td></tr><tr><td>4</td><td>33 m/s (120 km/h)</td></tr><tr><td>5</td><td>36 m/s (130 km/h)</td></tr></table> <p>Fuente: NSR-10, Pag.363.</p> <p>Nota: Estas zonas no han sido estudiadas y se recomienda ser conservador al evaluar las fuerzas eólicas que puedan Presentarse en ellas. Mientras no se disponga de datos</p>	Región	Velocidad del Viento	1	17 m/s (60 km/h)	2	22 m/s (80 km/h)	3	28 m/s (100 km/h)	4	33 m/s (120 km/h)	5	36 m/s (130 km/h)	<p>Se modifica la tabla y la nota de la figura B.6.4-1, quedando de la siguiente manera:</p> <table><tr><th rowspan="4">Región</th><th colspan="4">Velocidad del Viento</th></tr><tr><th colspan="4">Combinaciones de carga de</th></tr><tr><th colspan="2">B.2.3</th><th colspan="2">B.2.4</th></tr><tr><th>m/s</th><th>Km/h</th><th>m/s</th><th>Km/h</th></tr><tr><td>1</td><td>17</td><td>60</td><td>22</td><td>75</td></tr><tr><td>2</td><td>22</td><td>80</td><td>28</td><td>100</td></tr><tr><td>3</td><td>28</td><td>100</td><td>35</td><td>125</td></tr><tr><td>4</td><td>33</td><td>120</td><td>42</td><td>150</td></tr><tr><td>5</td><td>36</td><td>130</td><td>46</td><td>165</td></tr></table>	Región	Velocidad del Viento				Combinaciones de carga de				B.2.3		B.2.4		m/s	Km/h	m/s	Km/h	1	17	60	22	75	2	22	80	28	100	3	28	100	35	125	4	33	120	42	150	5	36	130	46	165
Región	Velocidad del Viento																																																						
1	17 m/s (60 km/h)																																																						
2	22 m/s (80 km/h)																																																						
3	28 m/s (100 km/h)																																																						
4	33 m/s (120 km/h)																																																						
5	36 m/s (130 km/h)																																																						
Región	Velocidad del Viento																																																						
	Combinaciones de carga de																																																						
	B.2.3		B.2.4																																																				
	m/s	Km/h	m/s	Km/h																																																			
1	17	60	22	75																																																			
2	22	80	28	100																																																			
3	28	100	35	125																																																			
4	33	120	42	150																																																			
5	36	130	46	165																																																			

<p>confiables se calcularán con base en una velocidad de 28 m/s (100 km/h).</p>	<p>Nota: Estas zonas no han sido estudiadas y se recomienda ser conservador al evaluar las fuerzas eólicas que puedan Presentarse en ellas. Mientras no se disponga de datos confiables se calcularán con base en una velocidad de 28 m/s (100 km/h) para las combinaciones de B.2.3 y <u>de 35 m/s (125 Km/h) para las combinaciones de B.2.4.</u></p>
<p>La sección C.1.2.1 describe el contenido mínimo de los planos, memorias, estudios y especificaciones. Esta sección incluye algunos parámetros que se deben incluir que inician con el literal a (Nombre y fecha de publicación del Reglamento NSR y sus suplementos de acuerdo con los cuales está hecho el diseño) y termina con el literal m (Indicación de si una losa sobre el terreno se ha diseñado como diafragma estructural, véase la sección 21.12.3.4)</p>	<p>En la sección C.1.2.1 se agrega un literal n el cual menciona lo siguiente:</p> <p>(n) Tipo, dimensiones, y localización de los anclajes; requisitos para su instalación; y su calificación de los instaladores de anclajes post instalados tal como lo indica C-D.9</p>

<p>Primer párrafo de la sección C.7.12.2.1</p> <p>C.7.12.2.1 — La cuantía de refuerzo de retracción y temperatura debe ser al menos igual a los valores dados a continuación, pero no menos que a.0014:</p>	<p>Se modifica quedando de la siguiente manera:</p> <p>C.7.12.2.1 — La cuantía de refuerzo de retracción y temperatura <u>medida sobre el área bruta de la sección</u>, debe ser al menos igual a los valores dados a continuación, pero no menos que a.0014:</p>
<p>La sección C.8.13.5 expresa lo siguiente:</p> <p>— Cuando se empleen aligeramientos fabricados con arcilla cocida u concreto que tengan una resistencia unitaria a la compresión por menos igual al f'_c de las viguetas:</p>	<p>Se modifica la sección C.8.13.5 quedando de la siguiente manera:</p> <p>C.8.13.5 — Cuando se empleen aligeramientos fabricados con arcilla cocida <u>o</u> concreto que tengan una resistencia unitaria a la compresión por menos igual al f'_c de las viguetas <u>se permite incluir la pared vertical del elemento de aligeramiento que está en contacto con la viqueta en los cálculos de resistencia al cortante y momento negativo. Ninguna otra parte de los aligeramientos debe incluirse en los cálculos de resistencia.</u></p>

<p>La sección C.8.13.5.1 expresa lo siguiente:</p> <p>— se permite incluir la pared vertical del elemento de aligeramiento que está en contacto con la vigueta en los cálculos de resistencia al cortante y momento negativo. Ninguna otra parte de los aligeramientos debe incluirse en los cálculos de resistencia.</p>	<p>Debido a la modificación realizada en la sección C.8.13.5 se elimina la sección C.8.13.5.1.</p>
<p>La sección C.8.13.5.2 describe lo siguiente:</p> <p>— La porción vaciada en sitio de la loseta debe tener al menos 45 mm de espesor, pero esta no debe ser menor de 1/20 de la distancia libre entre los nervios. El espesor de la losa de concreto vaciada en sitio sobre aligeramientos permanentes de concreto, de arcilla cocida, o plaquetas prefabricadas, la parte vaciada en sitio del espesor mínimo de la loseta superior puede reducirse a 40 mm.</p>	<p>Esta sección se renumera y reemplaza la sección C.8.13.6 quedando de la siguiente manera:</p> <p>C.8.13.6 — La porción vaciada en sitio de la loseta debe tener al menos 45 mm de espesor, pero esta no debe ser menor de 1/20 de la distancia libre entre los nervios. El espesor de la losa de concreto vaciada en sitio sobre aligeramientos permanentes de concreto, de arcilla cocida, o plaquetas prefabricadas, la parte vaciada en sitio del espesor mínimo de la loseta superior puede reducirse a 40 mm.</p>

<p>La sección C.8.13.5.3 describe lo siguiente:</p> <p>— En losas nervadas en una dirección, se debe disponer en la losa refuerzo normal a las nervaduras de acuerdo con lo requerido en C.7.12</p>	<p>Debido a la modificación realizada en la sección C.8.13.5.2 se elimina la sección C.8.13.5.3.</p>
<p>La sección C.8.13.6.1 describe lo siguiente:</p> <p>— El espesor de la losa no debe ser menor que 1/12 de la distancia libre entre las nervaduras, ni menor de 50 mm.</p> <p>La sección C.8.13.6.2 describe lo siguiente:</p> <p>— La losa debe llevar refuerzo perpendicular a las viguetas que cumpla lo requerido por flexión, considerando las concentraciones de carga, si las hay, pero no menor que el que se estipula en C.7.12.</p>	<p>La sección C.8.13.6.1 se elimina y la sección C.8.13.6.2 renumera como C.8.13.6.1, quedando de la siguiente manera:</p> <p>C.8.13.6.1 — La losa superior debe llevar refuerzo perpendicular a las viguetas que cumpla lo requerido por flexión, considerando las concentraciones de carga, si las hay, pero no menor que el que se estipula en C.7.12.</p>
<p>La sección C.11.1.1 describe lo siguiente:</p> <p>— Salvo para elementos diseñados de acuerdo con el apéndice A, m el diseño de secciones transversales sometida a cortante debe estar basado en:</p>	<p>En la sección C.11.1.1 donde dice “apéndice A “se modifica con:</p> <p>— Salvo para elementos diseñados de acuerdo con el apéndice C-A, m el diseño de secciones transversales sometida a cortante debe estar basado en:</p>

<p>La sección C.21.5.1.3 describe lo siguiente:</p> <p>— El ancho del elemento b_w, no debe ser menor que el más pequeño de $0.3 h$ y 250 mm.</p>	<p>La sección C.21.5.1.3 se modifica quedando de la siguiente manera:</p> <p>— El ancho del elemento b_w, no debe ser menor que el <u>mayor valor entre $0.3h$ y 250 mm.</u></p>
<p>Litera (b) de la sección H.5.1.1 describe lo siguiente:</p> <p>— De servicio — movimientos verticales y horizontales inmediatos y diferidos por descarga en el área de excavación y en los alrededores. Los valores esperados de tales movimientos deberán calculados para no causar daños a las construcciones e instalaciones adyacentes ni a los servicios públicos. Además, la recuperación por recarga no deberá ocasionar movimientos totales o diferenciales intolerables para las estructuras que se construyan en el sitio.</p>	<p>La sección H.5.1.1 se modifica quedando de la siguiente manera:</p> <p>—De servicio — movimientos verticales y horizontales inmediatos y diferidos por descarga en el área de excavación y en los alrededores. Los valores esperados de tales movimientos deberán <u>ser</u> calculados para no causar daños a las construcciones e instalaciones adyacentes ni a los servicios públicos. Además, la recuperación por recarga no deberá ocasionar movimientos totales o diferenciales intolerables para las estructuras que se construyan en el sitio.</p>
<p>El Título de la sección H.7.4.6 dice lo siguiente:</p> <p>— METODOS DE MEJORAMIENTO DE LOS DEPOSITOS DE SUELOS SUCEPTIBLES A LA LICUACION.</p>	<p>Se modifica el título de la sección H.7.4.6 quedando de la siguiente manera:</p> <p>— METODOS DE MEJORAMIENTO DE LOS DEPOSITOS DE SUELOS <u>SUSCEPTIBLES</u> A LA LICUACION.</p>

Tabla J.3.4-3 (Resistencia requerida al fuego normalizado NTC 1480 (ISO 834), en horas, de elementos de una edificación.				Se modifica la Tabla J.3.4-3 quedando de la siguiente manera:			
Elementos de la construcción	Categoría según la clasificación dada en J.3.3.1			Elementos de la construcción	Categoría según la clasificación dada en J.3.3.1		
	I	II	III		I	II	III
Muros Cortafuego	3	2 1/2	2	Muros Cortafuego	3	<u>2</u>	<u>1</u>
Muros de cerramiento de escaleras, ascensores, buitrones, ductos para basuras y corredores de evacuación	2	2	1 1/2	Muros de cerramiento de escaleras, ascensores, buitrones, ductos para basuras y corredores de evacuación	2	2	<u>1</u>
Muros divisorios entre unidades	2	1 1/2	1	Muros divisorios entre unidades	<u>1</u>	<u>1</u>	1
Muros interiores no portantes	1/2	1/4	-	Muros interiores no portantes	1/2	1/4	-
Columnas, vigas, viguetas, losas y muros portantes de cualquier material, u estructuras	2	1 1/2	1	Columnas, vigas, viguetas, losas y muros portantes de cualquier material, u estructuras	2	<u>1</u>	1

metálicas en celosía.				metálicas en celosía.			
Cubiertas	1	1	1/2	Cubiertas	1	1	1/2
Escaleras interiores no encerrados con muros	2	1 1/2	1	Escaleras interiores no encerrados con muros	2	<u>1</u>	1
<p>La sección K.3.18.2 (REQUISITOS ESPECIFICOS PARA EDIFICACIONES DEL GRUPO DE OCUPACION especifica 6 requisitos fundamentales, los cuales son:</p> <p>K.3.18.2.1— Número de salidas</p> <p>K.3.18.2.2— ventanas libres</p> <p>K.3.18.2.3— Conexión de las salidas</p> <p>K.3.18.2.4— Distancia de salidas</p> <p>K.3.18.2.5— Medios de salida</p> <p>K.3.18.2.6— Escaleras interiores</p>				<p>Se adiciona una nueva sección <u>K.3.18.2.1.1</u> que describe lo siguiente:</p> <p>— Para edificaciones hasta de 15 m de altura (medidos verticalmente hasta la cara superior de la placa del nivel habitable servido) la salida protegida debe constar, según el caso, de escaleras, pasillos y muros de cerramiento, contruidos con materiales incombustibles y con resistencia al fuego según lo especificado en el literal J.3.4.3.</p> <p>Además, se adiciona una nueva sección <u>K.3.18.2.1.2</u> que describe lo siguiente:</p> <p>— Se permite en las edificaciones del grupo de ocupación Residencial multifamiliar (R-2) para las cuales se requiera una sola salida, que la descarga de ésta sea directamente al vestíbulo de acceso de la edificación</p>			

	siempre y cuando la distancia de recorrido hasta la puerta de salida al exterior no sea mayor a 6 m y los acabados inferiores del vestíbulo sean Clase 1 según J.2.5.2.2.
La sección K.3.8.3.4 describe algunos requisitos fundamentales para tener en cuenta para la huella y contrahuella, los requisitos inician con el literal (a) y termina en el literal (j)	Se modifica la sección K.3.8.3.4 eliminando el literal (d) y los literales (a) a (j) se renumeran como (d) a (i).
La ecuación D.10.7-1 para diseño para carga axial de compresión es la siguiente: $P_{nc} = 0.80 (0.85f'_c(A_{ci} - A_{st}) + f_y A_{st})$	Se modifica la ecuación D.10.7-1 quedando de la siguiente manera: $P_{nc} = \mathbf{0.75} (0.85f'_c(A_{ci} - A_{st}) + f_y A_{st})$
La sección A.3.0 describe la nomenclatura de los términos descritos en la norma.	Se modifica la sección A.3.0 donde se adiciona una nueva definición, la definición es la siguiente: F_a = Coeficiente de amplificación que afecta la aceleración en la zona de periodos cortos, debida a los efectos de sitio adimensional.

Fuente: Autores

11. COMPARACIÓN TÉCNICA ENTRE DOS EDIFICACIONES DISEÑADAS Y CONSTRUIDAS DE ACUERDO CON LA NSR – 98 Y LA NSR – 10.

La siguiente edificación fue construida bajo los estándares de la norma colombiana sismo resistente del año 1998 (NSR – 98), a continuación, se realiza la descripción de dicho proyecto:

Tabla 20 Información general del proyecto estructural de acuerdo con la NSR – 98.

Nombre del proyecto	Proyecto estructural “casa San Isidro”	
Ingeniero civil a cargo	Ing. Ignacio Cotte Avendaño	
Ubicación	San Antonio del Tequendama / Cundinamarca	
Descripción	El proyecto estructural consiste en la construcción de dos estructuras independientes, una vivienda de dos pisos y otra para garaje vehicular cubierto.	
Especificaciones técnicas de los materiales.	<p>Concreto</p> <p>Acero</p> <p>Perfiles</p>	<p>21 MPa o 3000 PSI</p> <p>Varillas => N° 3 420 MPa</p> <p>Varillas < N°2 240MPa</p> <p>Perfiles estructurales 351 MPa</p>

Fuente: Autores

La siguiente edificación fue construida bajo los estándares de la norma colombiana sismo resistente del año 2010 (NSR – 10), a continuación, se presenta la descripción de dicho proyecto:

Tabla 21 Información general del proyecto estructural de acuerdo con la NSR – 10.

Nombre del proyecto	Proyecto estructural “Codensa sede La Palma”	
Ingeniero civil a cargo	Ing. Ignacio Cotte Avendaño	
Ubicación	La Palma/ Cundinamarca	
Descripción	El proyecto estructural consiste en la construcción de una edificación de un piso y semi sótano en la parte posterior del predio.	
Especificaciones técnicas de los materiales.	<p>Concreto</p> <p>Acero</p> <p>Perfiles</p>	<p>21 MPa o 3000 PSI</p> <p>Varillas => N° 3 420 MPa</p> <p>Varillas < N°2 240MPa</p> <p>Perfiles estructurales 253 y 351 MPa</p>

Fuente: autores.

Nota: Para mayor facilidad se nombra el proyecto estructural “Casa San Isidro” como el **Proyecto A**, y se nombra el proyecto estructural “Codensa sede La Palma” como el **Proyecto B**.

11.1 Microzonificación sísmica.

Proyecto A		Proyecto B	
Ubicación	San Antonio del Tequendama / Cundinamarca.	Ubicación	La Palma / Cundinamarca
Zona de amenaza sísmica	Intermedia (NSR – 98. Apéndice A.3)	Zona de amenaza sísmica	Intermedia (NSR – 10. Apéndice A.4)
Valores de A_a	$A_a = 0.20$	Valores de A_a	$A_a = 0.15$
Valores de A_v	A_v =valor no registrado	Valores de A_v	$A_v = 0.20$
Dicho proyecto CUMPLE con las especificaciones descritas en la NSR – 98.		Dicho proyecto CUMPLE con las especificaciones descritas en la NSR – 10.	

Fuente: Autores.

11.2 Perfil de suelo

Proyecto A		Proyecto B	
Tipo de suelo	S_2	Tipo de suelo	D
Coeficiente de sitio, S	1.20 Valor de la tabla 5 del presente documento	Coeficiente de sitio	Los valores del coeficiente de sitio para cada tipo de perfil del suelo ya no se encuentran en la norma vigente debido

			a que las ecuaciones de los espectros de diseño fueron modificadas.
--	--	--	---

Fuente: Autores.

11.3 Efectos locales.

Proyecto A		Proyecto B	
Valores de F_a	No registra ningún valor de F_a	Valores de F_a	1.50 Valor registrado en la tabla 7 del presente documento
Valores de F_v	No registra ningún valor de F_v	Valores de F_v	2.0 Valor registrado en la tabla 8 del presente documento

Fuente: Autores.

11.4 Espectros de diseño.

Proyecto A		Proyecto B	
Valores de S_a	0.50	Valores de S_a	0.62 Valor calculado según la tabla 10 del presente documento.

Valores de T_c	0.58 s	Valores de T_c	0.85 s Valor calculado según la tabla 10 del presente documento.
Valores de T_L	2.88 s	Valores de T_L	4.80 s Valor calculado según la tabla 10 del presente documento.
Valores de T_0	0.30 s	Valores de T_0	0.18 s Valor calculado según la tabla 10 del presente documento.
Valores de C_T	0.8 Valor registrado en la tabla 12 en el presente documento.	Valores de C_T	0.047 Valor registrado en la tabla 11 en el presente documento.
Valores de α	No registra valor	Valores de α	0.90 Valor registrado en la tabla 11 en el presente documento.
Valores de T_a	0.28s Valor calculado según la	Valores de T_a	0.34s Valor calculado según la

	ecuación 15 del presente documento.		ecuación 14 del presente documento.
Valores de K	1.0	Valores de K	1.0

Fuente: Autores.

11.5 Coeficiente de importancia.

Proyecto A		Proyecto B	
Valores de I	1.0 Valor registrado en la tabla 13 del presente documento.	Valores de I	1.10 Valor registrado según la tabla 13 del presente documento.

Fuente: Autores.

11.6 Coeficiente de capacidad de disipación de energía - R.

Proyecto A		Proyecto B	
Valores de ϕ_p	1.0 Valor registrado según la tabla A.3-5 del apéndice A.3 de la NSR – 98.	Valores de ϕ_p	0.9 Tipo 5p Valor registrado según la tabla A.3-6 del apéndice A.3 de la NSR – 10.
Valores de ϕ_a	1.0 Valor registrado según la tabla A.3-5 del apéndice A.3 de la NSR – 98.	Valores de ϕ_a	0.9 Tipo 3A Valor registrado según la tabla A.3-7 del apéndice A.3 de la NSR – 10.

Valores de ϕ_R	No registra ningún valor de ϕ_R .	Valores de ϕ_R	1.0 Valor registrado según la tabla 14 del presente documento.
Valores de R_0	5.00 Valor registrado según la tabla 15 del presente documento.	Valores de R_0	4.50 Valor registrado según la tabla A.3-4 del apéndice A.3 de la NSR – 10.
Valores de R	5.00 Valor calculado según la ecuación 16 del presente documento.	Valores de R	3.65 Valor calculado según la ecuación 17 del presente documento.

Fuente: Autores.

11.7 Combinaciones de carga.

Proyecto A	Proyecto B
Para este proyecto se utilizaron las ecuaciones registradas en la tabla 16 del presente documento. MIRAR ANEXOS	Para este proyecto se utilizaron las ecuaciones registradas en la tabla 16 del presente documento. MIRAR ANEXOS

Fuente: Autores.

12. IMPACTO SOCIAL DEL REGLAMENTO COLOMBIANO DE CONSTRUCCION SISMO RESISTENTE EN COLOMBIA

La versión actual de la NSR-10 centra principalmente su atención en las viviendas de uno (1) y dos (2) pisos ya que éstas construcciones predominan en la ciudad y gran parte de ellas no cuentan con los requisitos generales de construcción sismo resistente expuestos en la presente norma. Hace ya varios años el Gobierno Nacional planteo un Proyecto Social para mitigar una de las necesidades más sentidas en Colombia, la Construcción de Viviendas de Interés Social.

El número de familias sin acceso a una vivienda de calidad ha venido aumentando con el paso del tiempo promoviendo la construcción de viviendas informales dando origen a la creación de barrios marginales, disminuyendo así la calidad de vida y creando miseria que generan problemas sociales y de inseguridad que frenan la sostenibilidad de los asentamientos urbanos y la competitividad del país. Los promotores de esta estrategia han sido algunas empresas privadas que se encargan de la administración y construcción de los proyectos de Vivienda. El Gobierno Nacional cumple un papel importante en este tipo proyectos ya que procura por el cumplimiento del derecho a una vivienda digna para todos los colombianos y propicia la colaboración por parte de las organizaciones privadas.⁴⁷

Los proyectos de interés social son diseñados bajo las normas del Reglamento Colombiano de Construcción Sismo Resistente mediante la coordinación de un grupo integrado de Arquitectos, Ingenieros y capacitadores que en conjunto trabajan con la comunidad. Las construcciones de viviendas de interés social incentivan la participación de la comunidad en donde los beneficiarios adoptaran el liderazgo

⁴⁷ TECHIO, ELZA MARIA. 2016. Ambiente & Sociedade. [En línea] 2 de Junio de 2016. http://www.redalyc.org/pdf/317/Resumenes/Resumen_31746369010_1.pdf.

para la construcción y mejoramiento de las viviendas, actualmente, algunas universidades promueven la participación de sus estudiantes que están a punto de graduarse para hacer parte de los grupos de apoyo de los profesionales a cargo con el propósito de prestar un servicio social en pro del crecimiento económico, social y político de la ciudad de Bogotá.⁴⁸

Es importante resaltar que se han realizado actualmente construcciones de viviendas de interés social de baja calidad, esto generalmente sucede por la falta de ética de algunos profesionales por querer sacar provecho de estos proyectos sociales y por la poca presencia de las autoridades pertinentes para controlar y regular el correcto cumplimiento de estos proyectos. La NSR-10 es una herramienta bastante útil para el constructor a cargo ya que le brinda una serie de requisitos generales para la correcta construcción de una edificación, además, le proporciona la información pertinente para desarrollar cualquier proyecto sin importar el sitio de la construcción.⁴⁹

El Reglamento Colombiano de Construcción Sismo Resistente ha sido de gran ayuda para el crecimiento económico y social del país porque promueve la construcción de edificaciones a gran y poca altura que posteriormente prestaran un servicio a la comunidad haciendo de la edificación un espacio vital para la generación de un beneficio común, además, les brindara a sus ocupantes la tranquilidad en caso de suceder algún movimiento telúrico salir con vida de la edificación antes que esta puede colapsar. También, garantiza la seguridad y preservación de la vida humana con la creación de un espacio confiable y cómodo. Igualmente, ayuda a disminuir la construcción de viviendas informales a través de programas de VIS que generan un grado de calidad de vida óptimo para los beneficiarios creando un desarrollo urbano en los lugares intervenidos.

⁴⁸ WOLFRAM, CHRISTER SJOSTROM & TRINIUS. 2007. Integrated Planning Concept Sustainable Building Focus. [En línea] Diciembre-junio de 2007. <http://www.irbnet.de/daten/iconda/CIB22218.pdf>.

⁴⁹ Caicedo, Hernando Vargas. 2014. Building Codes in Colombia: Approximations and Implementation. [En línea] diciembre de 2014. 2014.

13. CONCLUSIONES

La actualización del Decreto 092 del año 2011 es la que presenta el mayor número de cambios de la NSR – 98 con relación a la NSR – 10, porque se definieron nuevos parámetros como por ejemplo la adición de coeficientes como F_a , F_v los cuales garantizan un mejor comportamiento de la edificación durante y después de un sismo. Actualmente la NSR – 10 fue actualizada bajo el Decreto 945 de 05 junio 2017, en donde se modifican numerales, definiciones, secciones, párrafos, sin lograr cambios significativos.

En términos de calidad y seguridad se observa que la Norma Sismo Colombiana diseña un Título (Título I “Supervisión Técnica”) en el cual se mencionan parámetros fundamentales para evaluar las etapas constructivas y verificar el cumplimiento de la norma. De acuerdo con lo anterior, en nuestro criterio en la NSR – 10 se hace un mayor seguimiento al constructor con el tema de los planos, especificación y control de materiales y ejecución de la construcción, además, se define un procedimiento más claro de cómo realizar una supervisión técnica adecuada y de mayor calidad. Cabe resaltar que en el país existe un gran porcentaje de edificaciones realizadas sin ningún control, lo que trae como consecuencia que a la hora de que suceda un sismo dichas construcciones causen grandes pérdidas socioeconómicas y de vidas humanas.

De igual forma que la mayoría de los ingenieros que se han dedicado a analizar los cambios que trajo la NSR10 con respecto a la NSR98, pueden afirmar que la NSR10 es más estricta con aquellas estructuras que de alguna manera están diseñadas con características geométricas poco recomendadas, teniendo irregularidades en planta, irregularidades en altura o ausencia de redundancia en su sistema estructural.

Sin embargo, por otro lado, al ser más detallista en estos puntos, permite también ceder en otros, que por sus características particulares hizo posible que se redujeran, algunos parámetros determinantes en la consecución de las fuerzas de diseño. El cambio del espectro de aceleraciones muestra inicialmente un aumento apreciable en el valor de la aceleración máxima de diseño.

A partir de la presente investigación se observó que las diferencias más relevantes entre la NSR – 98 y la NSR – 10 son las modificaciones de los valores de los movimientos sísmicos de diseño (A_a) y la adición de un nuevo parámetro A_v . Igualmente, la modificación de la sección A.2.4 (Efectos Locales) a través de los coeficientes F_a y F_v , coeficientes evaluados según la zona de amenaza sísmica. De igual manera, se incluyó un nuevo parámetro que hace referencia a cómo tratar adecuadamente elementos estructurales que no están en capacidad de disipar energía en el rango de respuesta inelástico, este parámetro se conoce como coeficiente de sobrerresistencia (Ω_0). Además, se ajustó el método de fuerza horizontal equivalente haciéndolo más preciso y con mejores resultados.

En el caso de la comparación técnica de las dos edificaciones que se desarrollaron bajo los parámetros de la norma sismo resistente NSR – 98 y la NSR – 10 respectivamente, se puede concluir varios aspectos que se encontraron al realizar este trabajo de investigación. En el primer caso se observa que el desarrollo constructivo se cumplió a cabalidad sin saltarse ningún requisito descrito en la norma con la que se desarrolló cada construcción. Como segunda observación en medio de la investigación que los parámetros que se cambian de una construcción a la otra (siendo estas de características similares) se puede concluir que los cambios que sufrió la NSR – 98 han provocado un incremento desde el punto de vista económico, ya que, con la adición de nuevos factores, a la hora de calcular cambia la resistencia necesaria para que la construcción soporte un sismo, por tanto se modifica las dimensiones de las vigas, la cantidad de acero y el diámetro de las varillas. En tercer lugar, la NSR – 10 presenta de una manera mucho más clara la

forma de realizar una supervisión técnica de mayor calidad, donde como gran cambio, las constructoras no pueden realizar a sus propias construcciones la supervisión, sino, tendrán que contratar a un tercero para realizarla.

Mediante el desarrollo de esta investigación el grupo de trabajo a cargo adquirió los conocimientos fundamentales que debe tener un Ingeniero Civil al momento de realizar una construcción en el territorio colombiano, conocimientos en áreas como Suelos, Estructuras, entre otros. El responsable a cargo basado en el Reglamento Sismo Resistente de Colombia realizara una edificación que contara con la calidad y seguridad adecuada para ser ocupada posteriormente.

El Reglamento Colombiano de Construcción Sismo Resistente ha sido uno de los mayores autores del crecimiento urbano de la ciudad de Bogotá, ya que a partir de su contenido los profesionales pueden diseñar y construir una edificación de alta calidad, fortaleciendo la economía de la ciudad y generando espacios seguros y cómodos donde la comunidad podrá desarrollar sus actividades cotidianas sin mayor complicación ni riesgo.

14. RECOMENDACIONES

A partir de la presente investigación se observó con mayor claridad que en el país se presentan aún muchos déficits en el campo de la construcción, obras civiles desarrolladas tanto en el casco urbano como la zona rural no satisfacen la durabilidad presupuestada o no cumplen con los todos los requisitos sísmicos según el uso de la edificación.

Como se indica en cada parámetro de la norma colombiana sismo resistente (NSR), cada territorio tiene unos aspectos que convierten cada construcción en única y requiere unas condiciones diferentes para su ejecución.

El gran problema que presenta esta normativa es la expansión de construcciones desarrolladas sin ningún reglamento y sin ninguna vigilancia rigurosa sobre si las condiciones que presenta la normativa se están llevando a cabalidad. La norma es muy clara que cada construcción u obra civil se le debe realizar una supervisión técnica apropiada, lo cual en el caso específico de las zonas rurales del país y sectores urbanos de las grandes ciudades no se está realizando.

Así mismo, cabe resaltar que las organizaciones encargadas de la elaboración de proyectos de vivienda de interés social en las principales ciudades del país, están haciendo un gran énfasis de que se cumpla cada uno de los criterios reseñados en la NSR – 10, debido a que se quiere evitar cualquier tragedia como las ocurridas en el pasado, ya que estas viviendas son las que acogen a la gran mayoría de las personas que habitan en Colombia.

Como una de las recomendaciones, que se puede realizar al concluir este trabajo investigativo es que se mejore la supervisión técnica que dicta en la normatividad, a lo largo del territorio nacional, sobre todo en áreas vulnerables como en los cerros

de la ciudad de Bogotá, donde existen muchas edificaciones que, en el caso de presentarse cualquier actividad sísmica, podrán verse muy afectadas.

Al igual, como otra sugerencia el gobierno nacional u organizaciones competentes desarrollar un plan donde se tenga como prioridad que cada persona vinculada de algún modo al área de construcción tenga conocimientos básicos sobre la normatividad vigente a cerca de condiciones mínimas que debe tener la edificación en su desarrollo constructivo para que pueda salvaguardar las vidas que lleguen a habitar en dicha construcción cuando se presente un sismo.

15. BIBLIOGRAFIA

AHUMADA, PILAR SOFIA VILORA. 2010. Inventario de sismos historicos en Colombia. *Congreso Latinoamericano de Prevencion de Riesgos y Medio Ambiente*. [En línea] 2010. http://paritario.utralca.cl/docs/MESA_B_PONENCIAS/B_14_INVENTARIO_SISMOS_HISTORICOS_COLOMBIA_PILAR_SOFIA_VILORIA_AHUMADA.pdf.

AIS, ASOCIACIÓN COLOMBIANA DE INGENIERÍA. 2010. REGLAMENTO COLOMBIANO DE CONSTRUCCION SISMO RESISTENTE NSR-10. [En línea] MARZO de 2010. http://www.culturarecreacionydeporte.gov.co/sites/default/files/reglamento_construccion_sismo_resistente.pdf.

AIS, Asociacion Colombiana de Ingenieria Sismica. 1998. Normas Colombianas de Diseño y Construccin Sismo Resistente NSR-98. [En línea] 09 de Enero de 1998. <https://es.slideshare.net/94504225/nsr-98-tomo1>.

ANALISIS MACROSISMICO DEL TERREMOTO DE MURINDÓ-ANTIOQUIA(COLOMBIA) OCTUBRE DE 1992. **MARIN, JUAN PABLO, VALENCIA, LUIS YENCI y RENDON, LINA MARIA. 2009.** 2009, Boletín de Geología, págs. 85-93.

ARQUIGRAFICO. 2016. Arquigrafico. *Arquigrafico*. [En línea] 2016. <http://www.arquigrafico.com/es-una-edificacion-sismo-resistente/>.

BAZAN, E. 1998. Diseño sismico de edificios. Mexico : Limusa, 1998.

Caicedo, Hernando Vargas. 2014. Building Codes in Colombia: Approximations and Implementation. [En línea] Diciembre de 2014. 2014.

CIVIL, COORDINACIÓN GENERAL DE PROTECCIÓN. 2009. Centro Nacional de Prevención de Desastres. [En línea] Julio de 2009. <http://www.gob.mx/proteccion-civil>.

DESASTRES, REVISTA SEMESTRAL DE LA RED DE ESTUDIOS SOCIALES EN PREVENCIÓN DE. 1995. Red de estudios sociales en prevención de desastres en América Latina. [En línea] Enero de 1995. <http://www.desenredando.org/public/revistas/dys/rdys04/dys4-1.0-nov-7-2001-ESPECIAL.pdf>.

FIGUEROA, GARCÉS. 2017. CARTILLA PROCESO CONSTRUCTIVO EN EDIFICACIONES. [En línea] 2017. http://www.academia.edu/11050598/CARTILLA_PROCESO_CONSTRUCTIVO_EN_EDIFICACIONES.

FUNVISIS. 2017. Fundación venezolana de investigaciones sismológicas. *Fundación venezolana de investigaciones sismológicas*. [En línea] Agosto de 2017. <http://www.funvisis.gov.ve/objetosa/temblortierra/qesismo.html>.

GARCIA PRIETO, JULIAN ANDRÉS. 2014. SENA. *SENA*. [En línea] Agosto de 2014. <http://es.slideshare.net/jguzman541/sismo-resistencia-y-las-normas-NSR10>.

GARCÍA, LUIS ENRIQUE. 2015. Desarrollo de la normativa sismo resistente colombiana en los 30 años desde su primera expedición. *Desarrollo de la normativa sismo resistente colombiana en los 30 años desde su primera expedición*. [En línea] 15 de Febrero de 2015. <http://www.scielo.org.co/pdf/ring/n41/n41a13.pdf>.

MARTÍNEZ, JAIME DE LA COLINA. 2000. CIENCIA ERGO SUM. [En línea] JUNIO de 2000. <http://www.redalyc.org/pdf/104/10401812.pdf>.

MINISTERIO DE VIVIENDA, CIUDAD Y TERRITORIO. 2012. DECRETO 340 DE 2012. [En línea] 16 de MARZO de 2012. http://camacol.co/sites/default/files/secciones_internas/Decreto-340-Feb%2013-2012.pdf.

MINISTERIO DE VIVIENDA, CIUDAD Y TERRITORIO. 2017. DECRETO NUMERO 945 DE 5 JUNIO DE 2017. [En línea] 5 de 06 de 2017. <http://es.presidencia.gov.co/normativa/normativa/DECRETO%20945%20DEL%2005%20DE%20JUNIO%20DE%202017.pdf>.

MORELLA, BRICEÑO AVILA. 2011. PROVINCIA. [En línea] 25 de JUNIO de 2011.
<http://www.redalyc.org/pdf/555/55519834006.pdf>.

OFICIAL, DIARIO. 2012. ACIESCOLOMBIA. [En línea] 13 de 02 de 2012.
<http://www.aciescolombia.org/docs/conferencias/2012-02-13-Diario-Oficial-No-48342%20Decreto%20340%20cambios%20a%20NSR-10.pdf>.

Secretaría General de la Alcaldía Mayor de Bogotá D.C. 2006. Alcaldia de Bogota . [En línea] 24 de 02 de 2006.
<http://www.alcaldiabogota.gov.co/sisjur/normas/Norma1.jsp?i=19163>.

SEDANO, ANDREA ARANGUREN. 2011. Analisis Comparativo de las Edificaciones Económicas entre la NSR-98 y NSR-10 (caso de estudio en la ciudad de Bogotá). [En línea] Noviembre de 2011.
<https://repository.javeriana.edu.co/bitstream/handle/10554/1785/ArangurenSedanoAndrea%202011.pdf?sequence=1>.

SISMICAS, COMISIÓN ASESORA PERMANENTE PARA EL RÉGIMEN DE CONSTRUCCIONES. 2010. Reglamento Colombiano de Construcción Sismo Resistente. *Reglamento Colombiano de Construcción Sismo Resistente*. [En línea] Marzo de 2010.
http://www.culturarecreacionydeporte.gov.co/sites/default/files/reglamento_construccion_sismo_resistente.pdf.

SOSTENIBLE, MINISTERIO DE AMBIENTE Y DESARROLLO. 2014. Red De Desarrollo Sostenible. [En línea] 15 de 11 de 2014. <https://www.rds.org.co/es/novedades/decreto-2041-de-2014-por-el-cual-se-reglamentan-las-licencias-ambientales>.

TECHIO, ELZA MARIA. 2016. Ambiente & Sociedad. [En línea] 2 de Junio de 2016.
http://www.redalyc.org/pdf/317/Resumenes/Resumen_31746369010_1.pdf.

UNAM. 2009. SEGOB. *SEGOB*. [En línea] 2009.
<http://www.cenapred.unam.mx/es/preguntasfrecuentes/faqpopo3.html>.

WOLFRAM, CHRISTER SJOSTROM & TRINIUS. 2007. Integrated Planning Concept Sustainable Building Focus. [En línea] Diciembre-junio de 2007.
<http://www.irbnet.de/daten/iconda/CIB22218.pdf>.

16. ANEXOS